

CITOLOGÍA

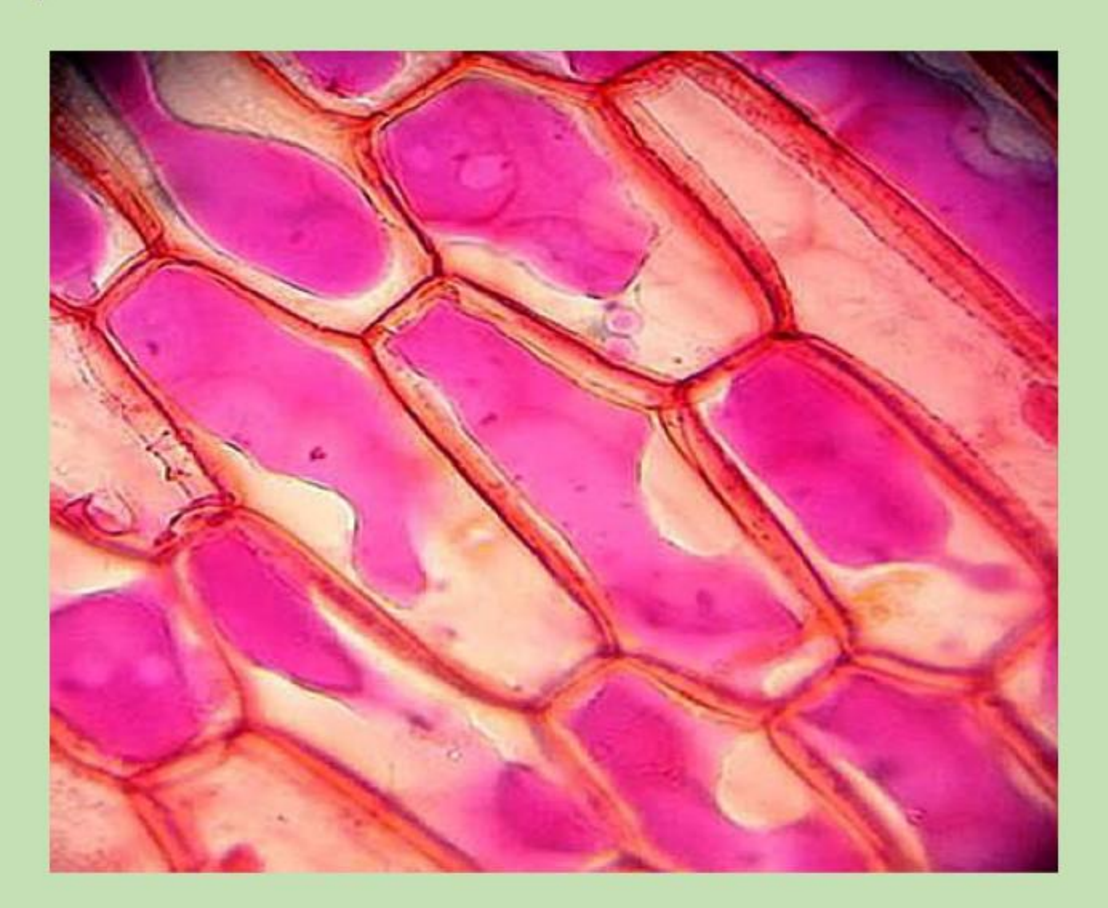


Aldo Ceroni Stuva

CELULA VEGETAL

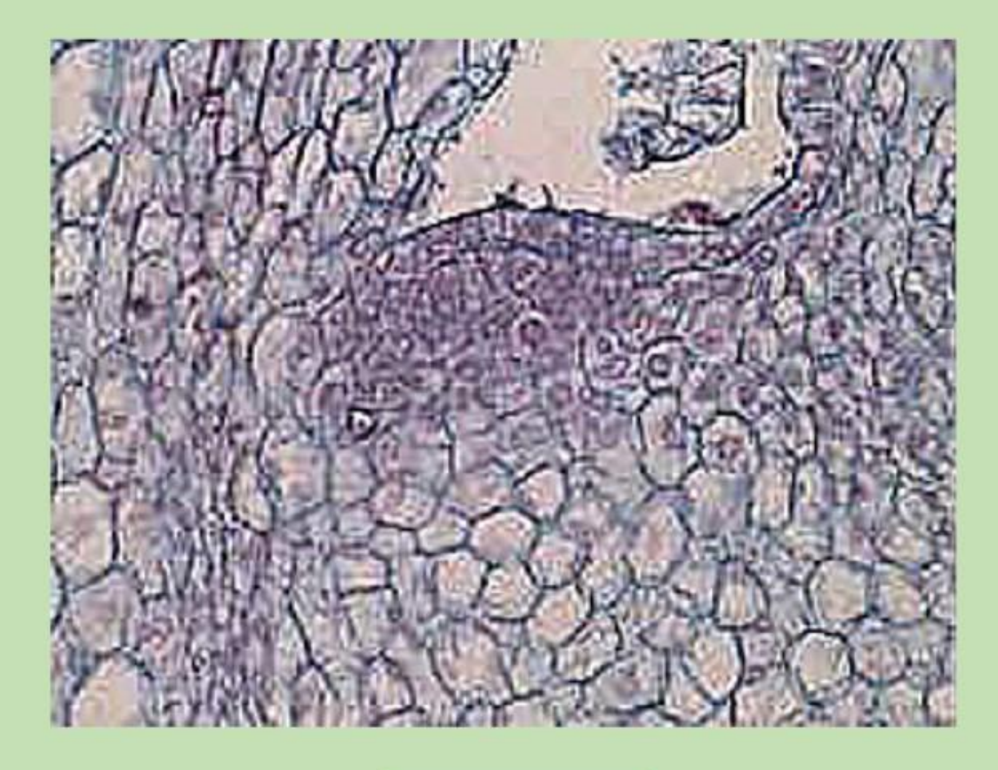
Las células son consideradas como las unidades fundamentales de vida.

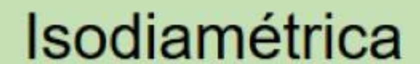
Son capaces de reproducirse a sí mismas y desarrollarse de un modo ordenado desde un principio simple hasta un final muy especializado.

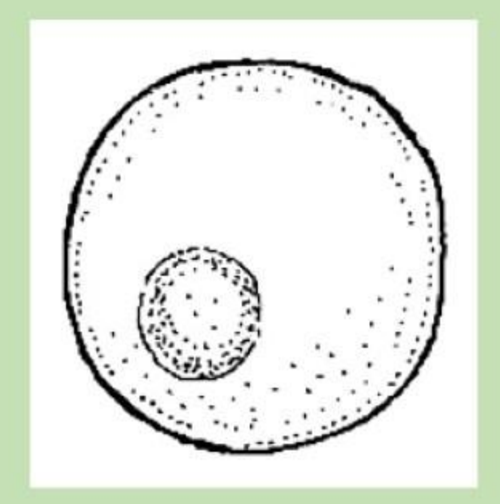


La célula vegetal varía en cuanto al **tamaño** entre **10** y **100 micras**.

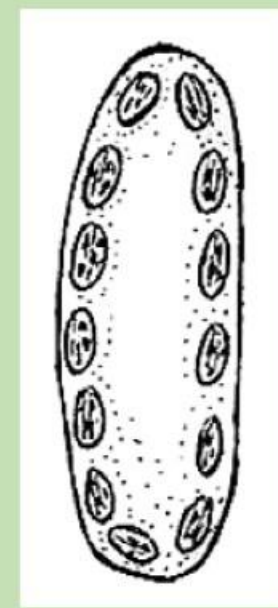
Aunque la **forma** de una célula vegetal típica es **poliédrica**, esta puede variar con la **función**.





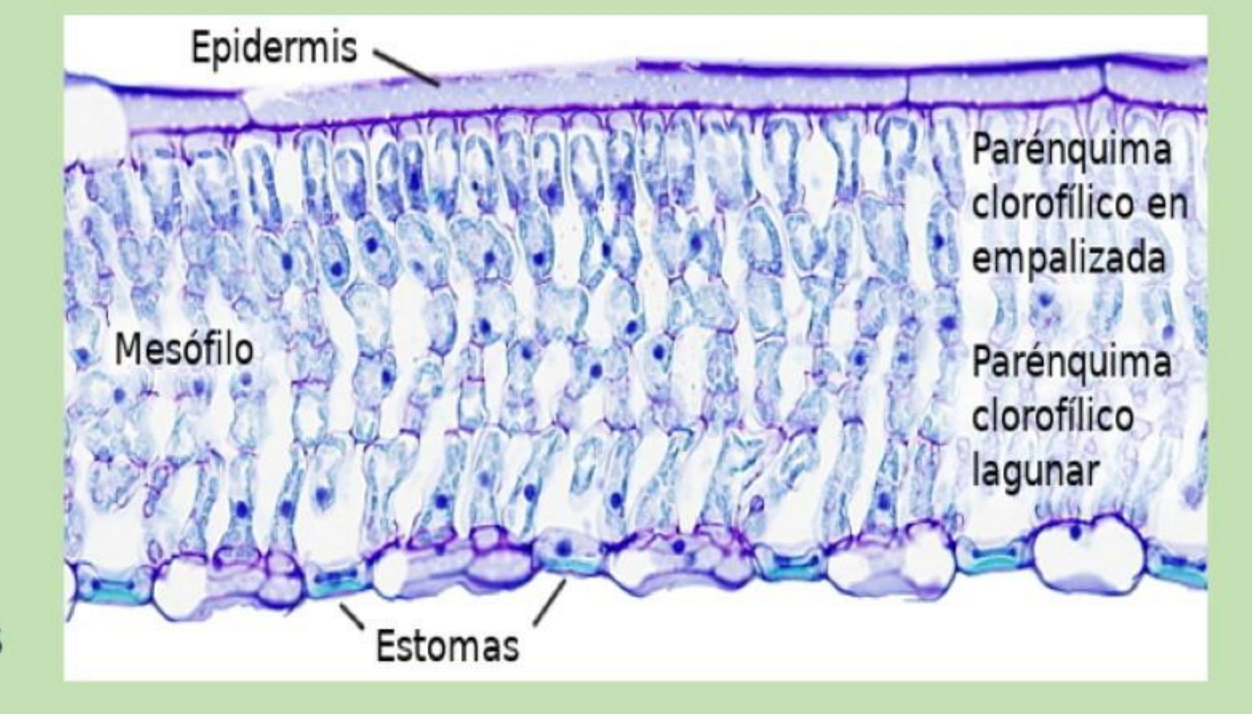


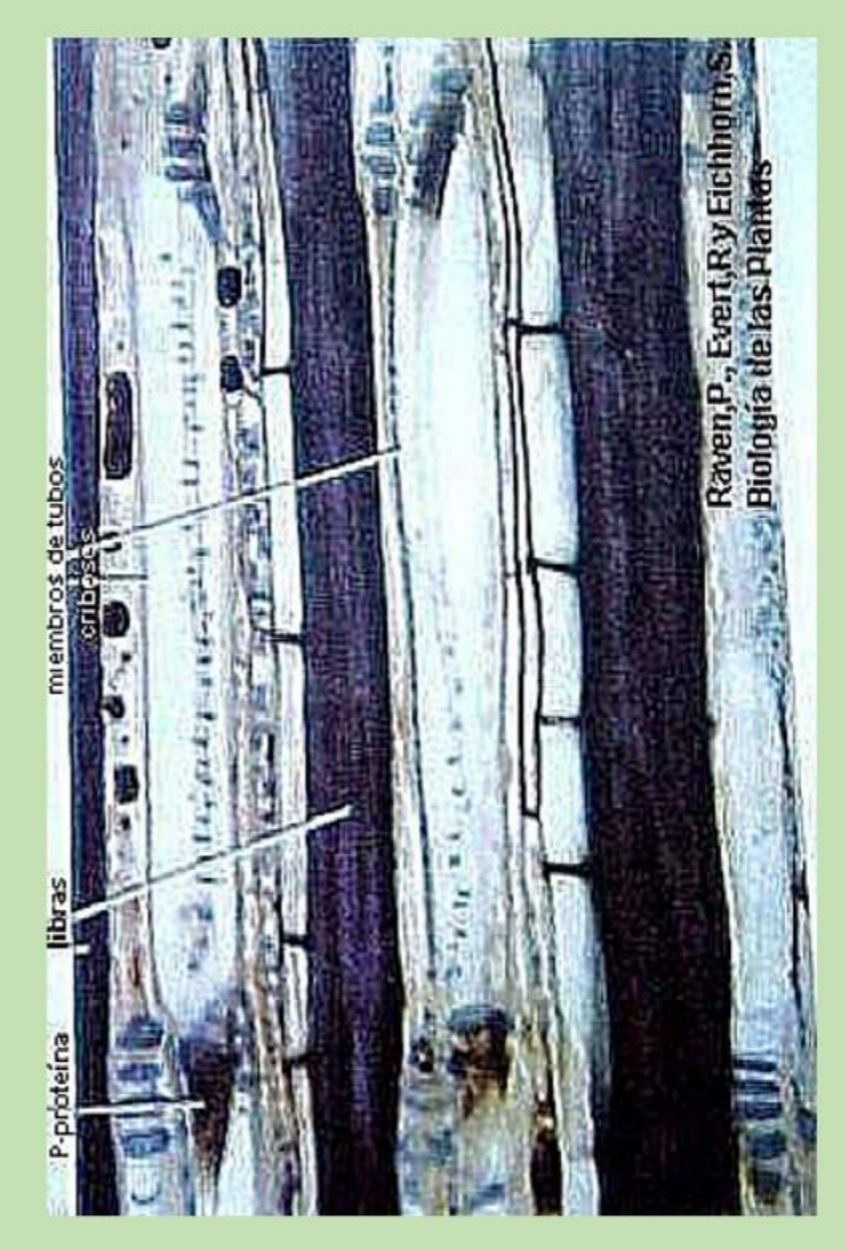
Meristemáticas



Alargada

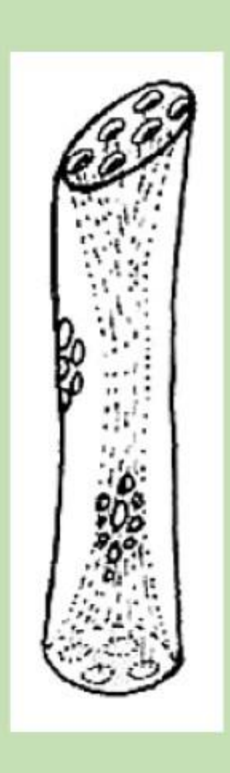
Parenquimáticas

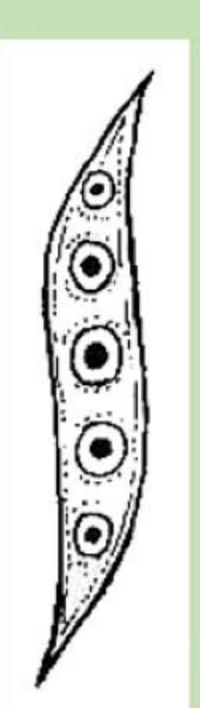




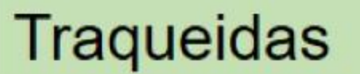
Tubos cribosos

Tubular

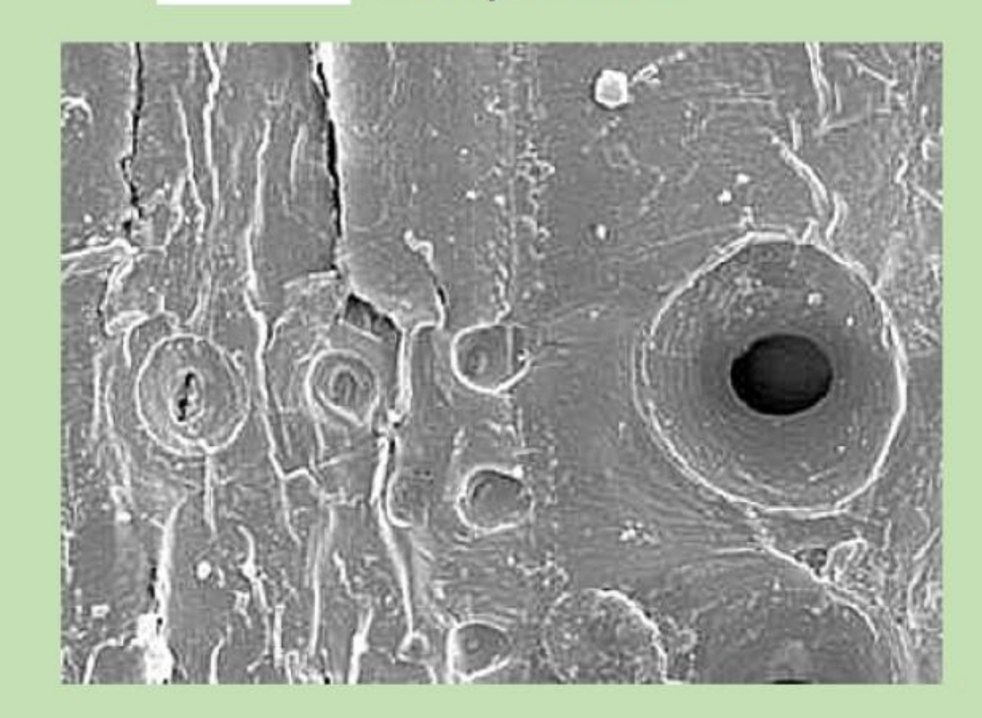




Fusiforme



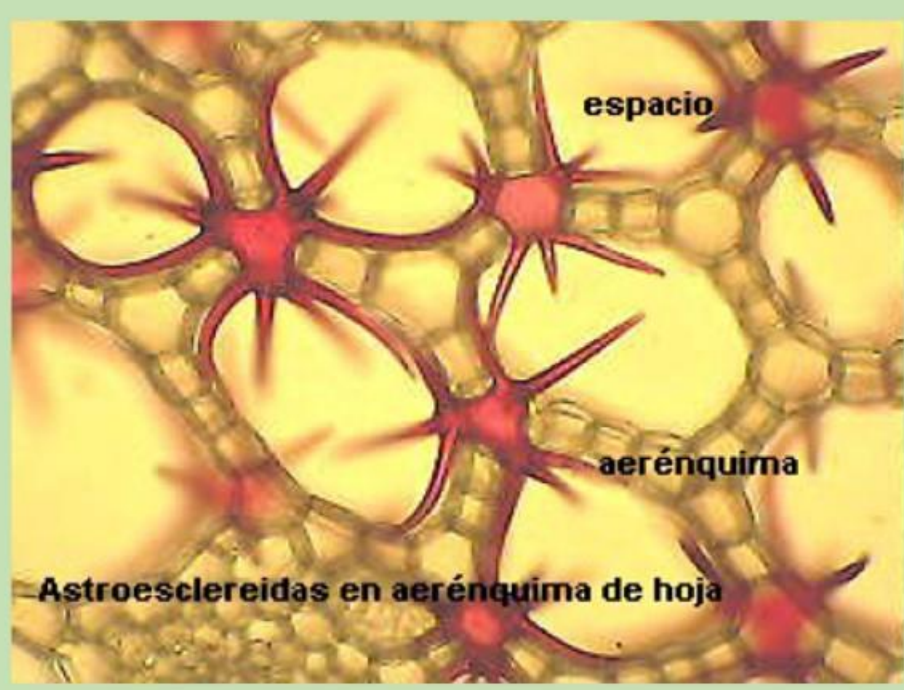
Traqueidas



Estrellada

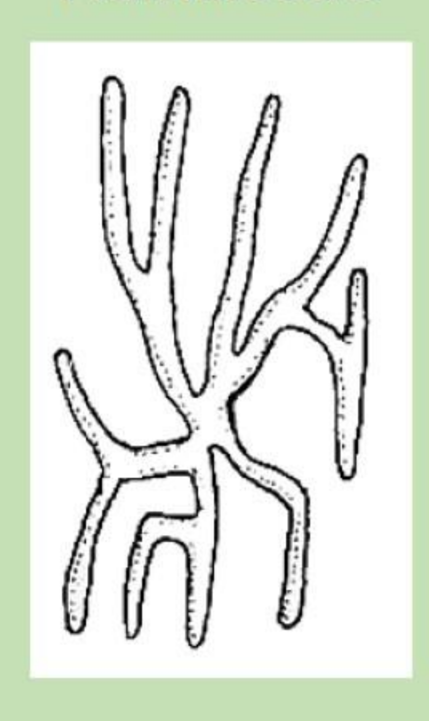






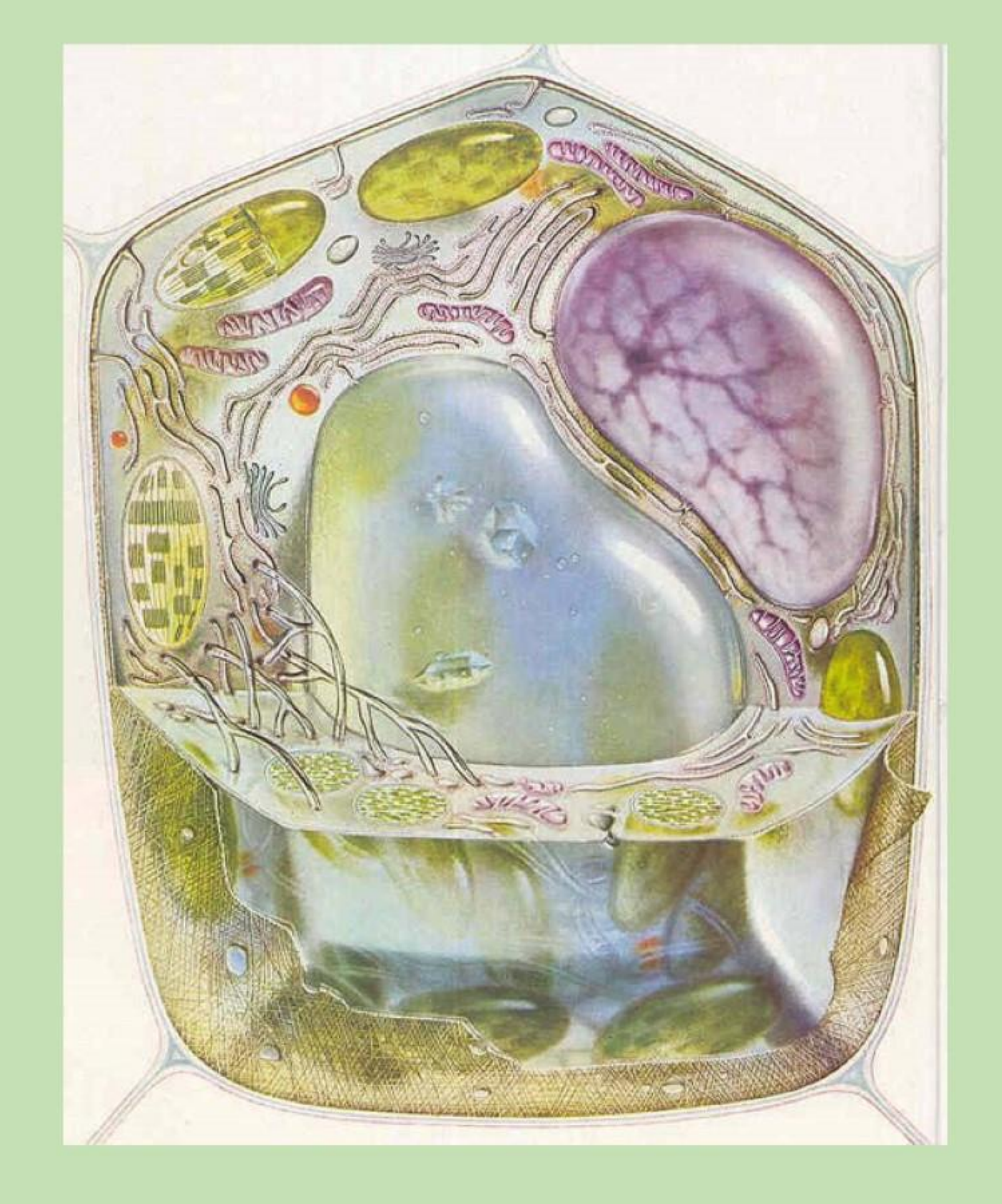
Astroesclereidas

Ramificada





Tubos laticíferos



La célula vegetal puede dividirse en 2 partes principales:

1. **Pared celular**.

2. **Protoplasto**.

El protoplasto se divide internamente en compartimentos e incluye:

membrana plasmática, citoesqueleto, sistema de endomembranas, núcleo, vacuola, plastidios y microcuerpos.

PARED CELULAR

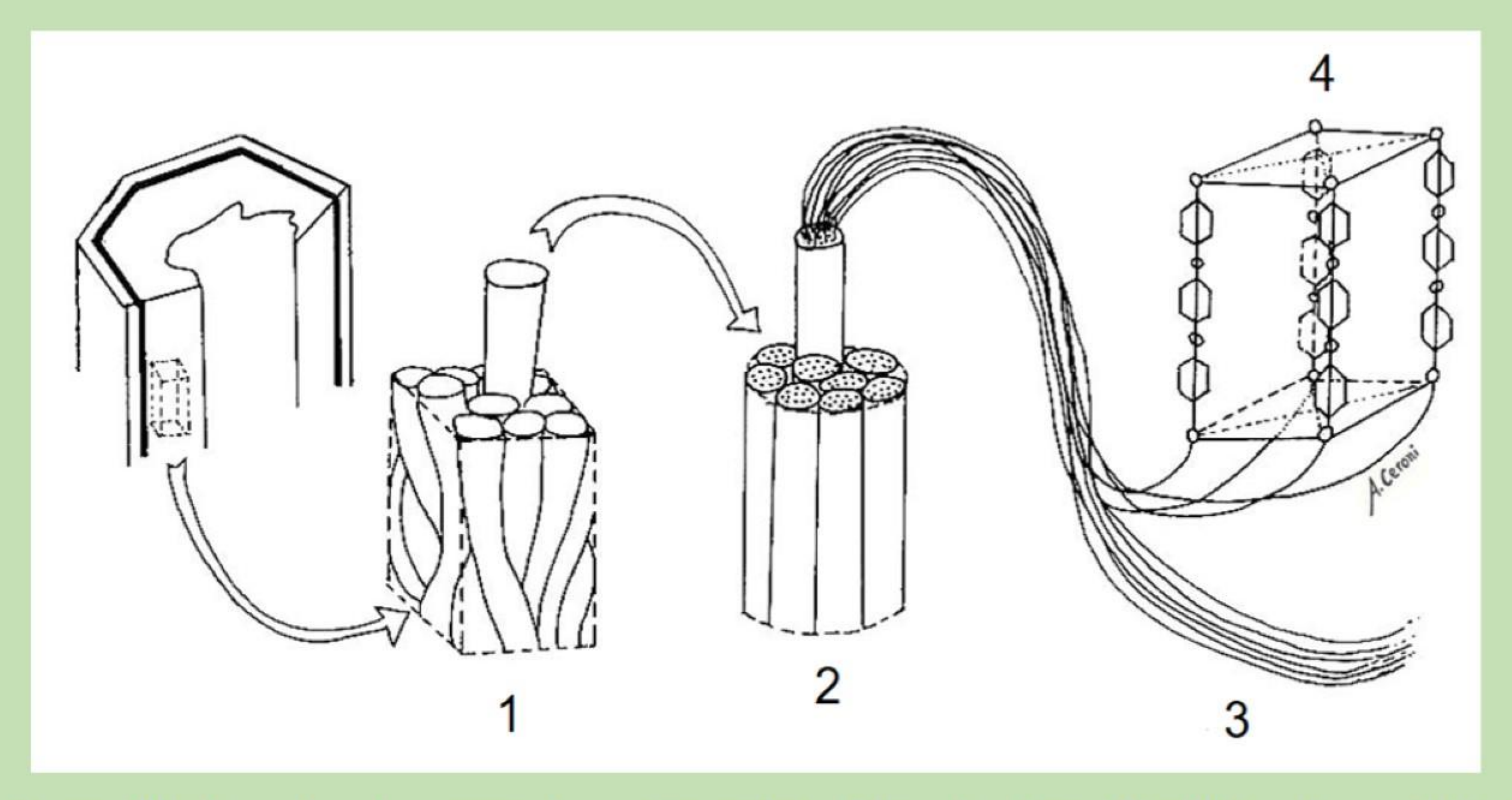
Es una **matriz extracelular** que encierra a cada una de las células.

Es rígida, fuerte y de grosor variable, de 0.1 a muchas micras, lo cual dependerá del **rol** que juega la célula dentro de la estructura de la planta y en parte de la **edad** de la célula.

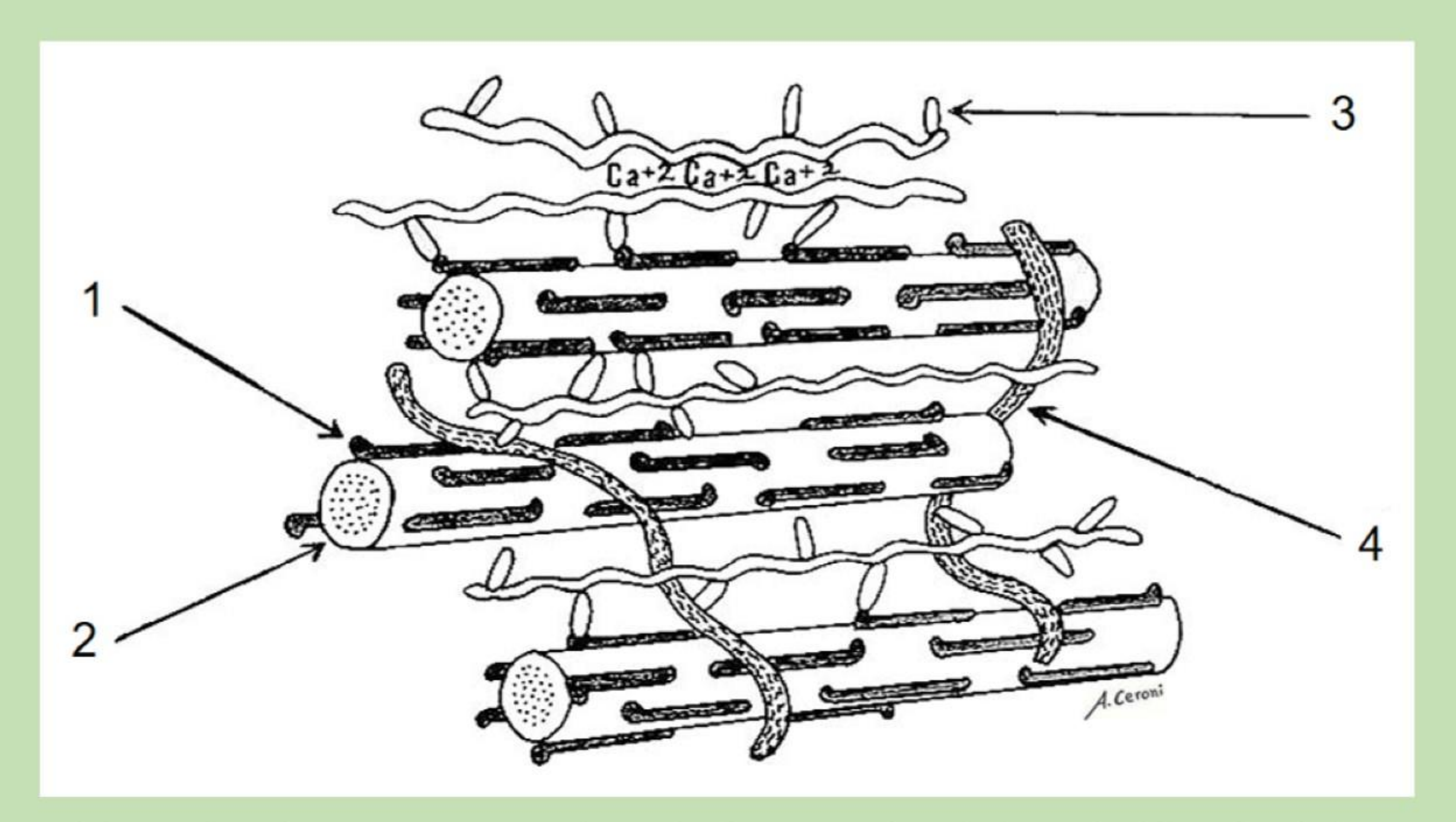
Aunque cada célula está encerrada en su propia "caja de madera", la comunicación entre ellas es posible gracias a los **plasmodesmos**.

Así pues, la pared celular tiene funciones importantes como **protección**, **transporte** y **esqueleto** de la célula.

ESTRUCTURA DE LA PARED CELULAR



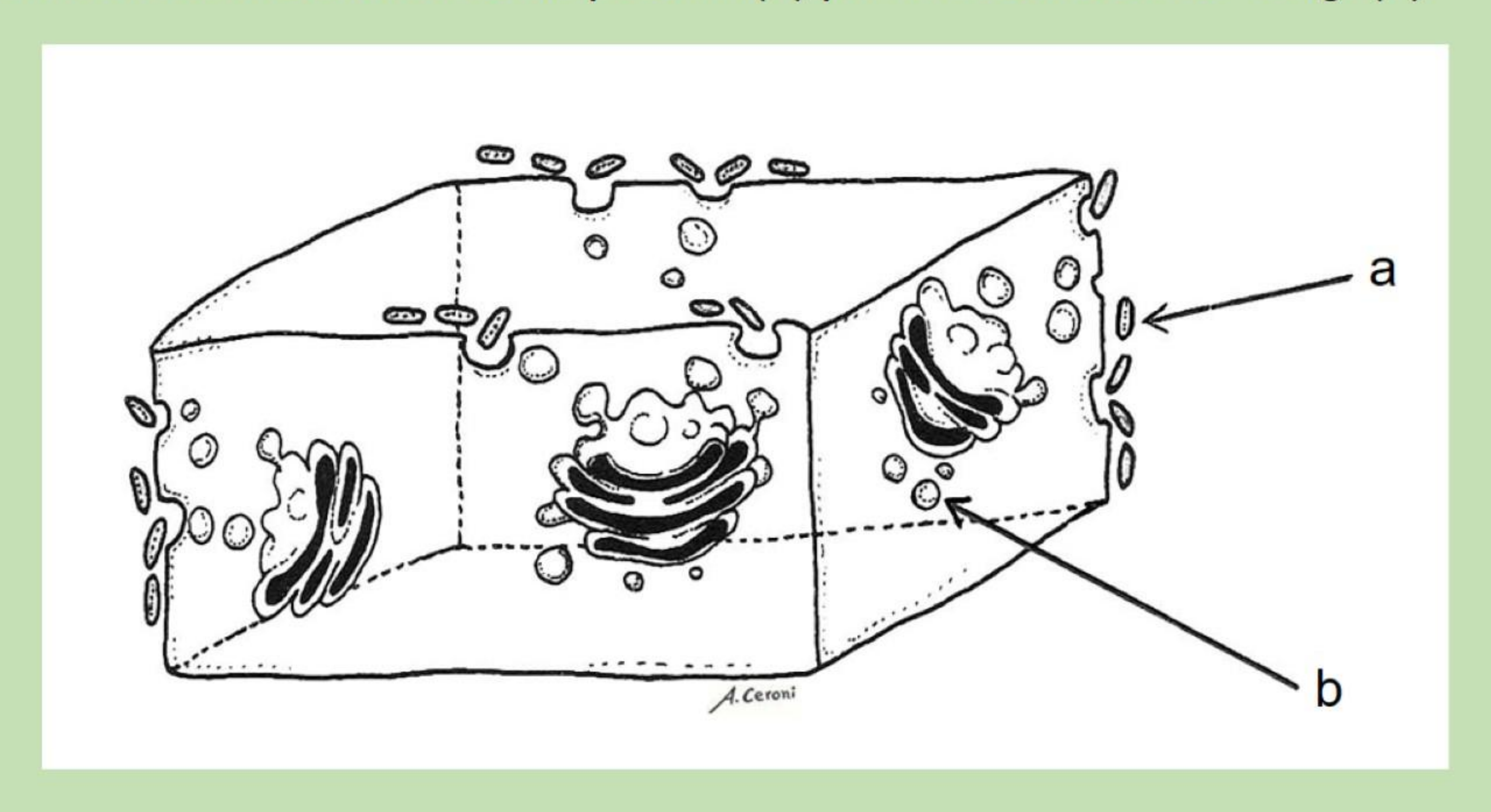
Estructura fibrilar de la pared y organización de las fibrillas de celulosa: 1. Macrofibrillas; 2. Microfibrillas; 3. Moléculas de celulosa y 4. Micela.



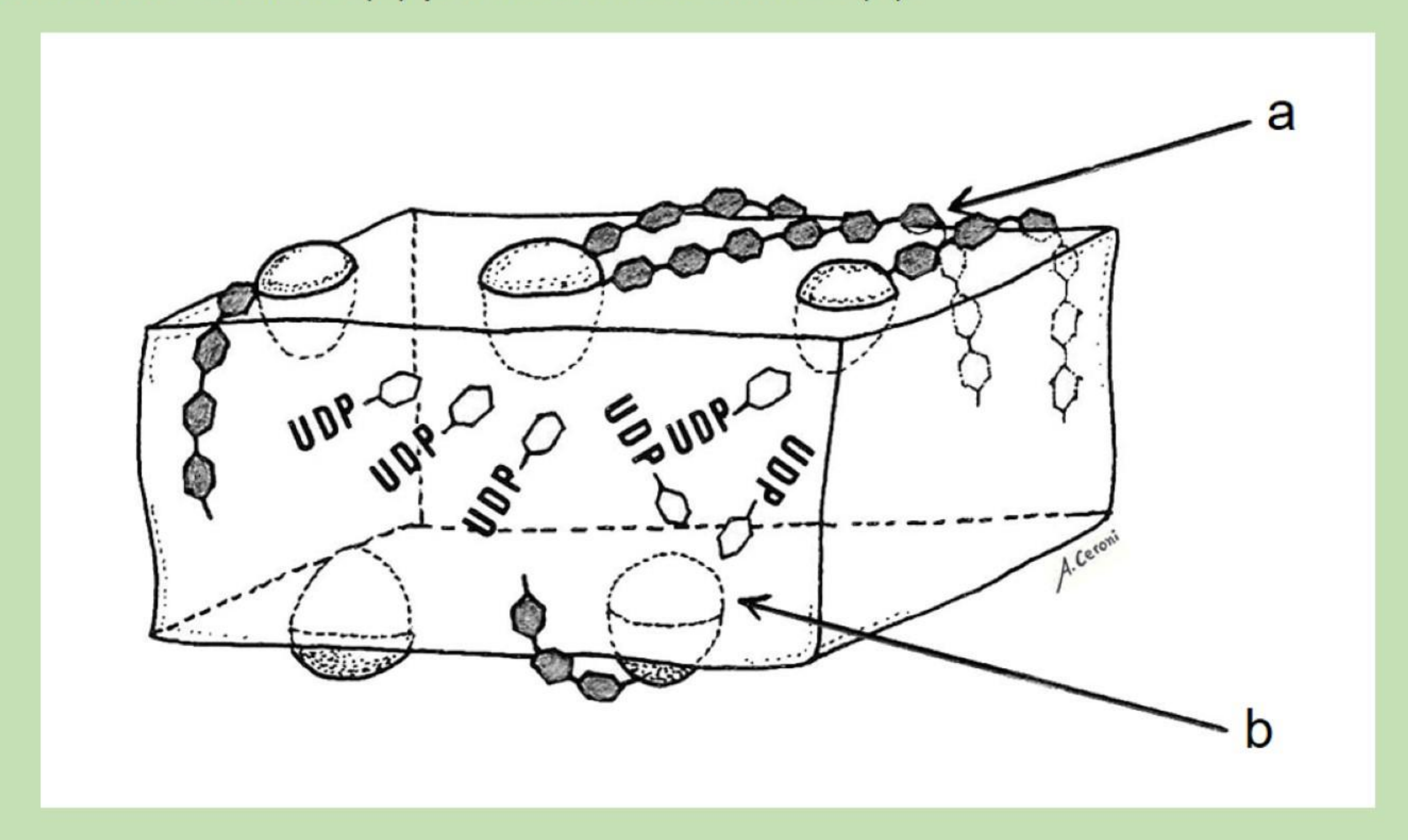
Interconexión entre los componentes de la pared celular: 1. Hemicelulosas unidas por puentes H_2 a las; 2. Microfibrillas de celulosa; 3. Pectinas como puentes transversales y 4. Glicoproteínas entretejidas.

FORMACIÓN DE LA PARED CELULAR

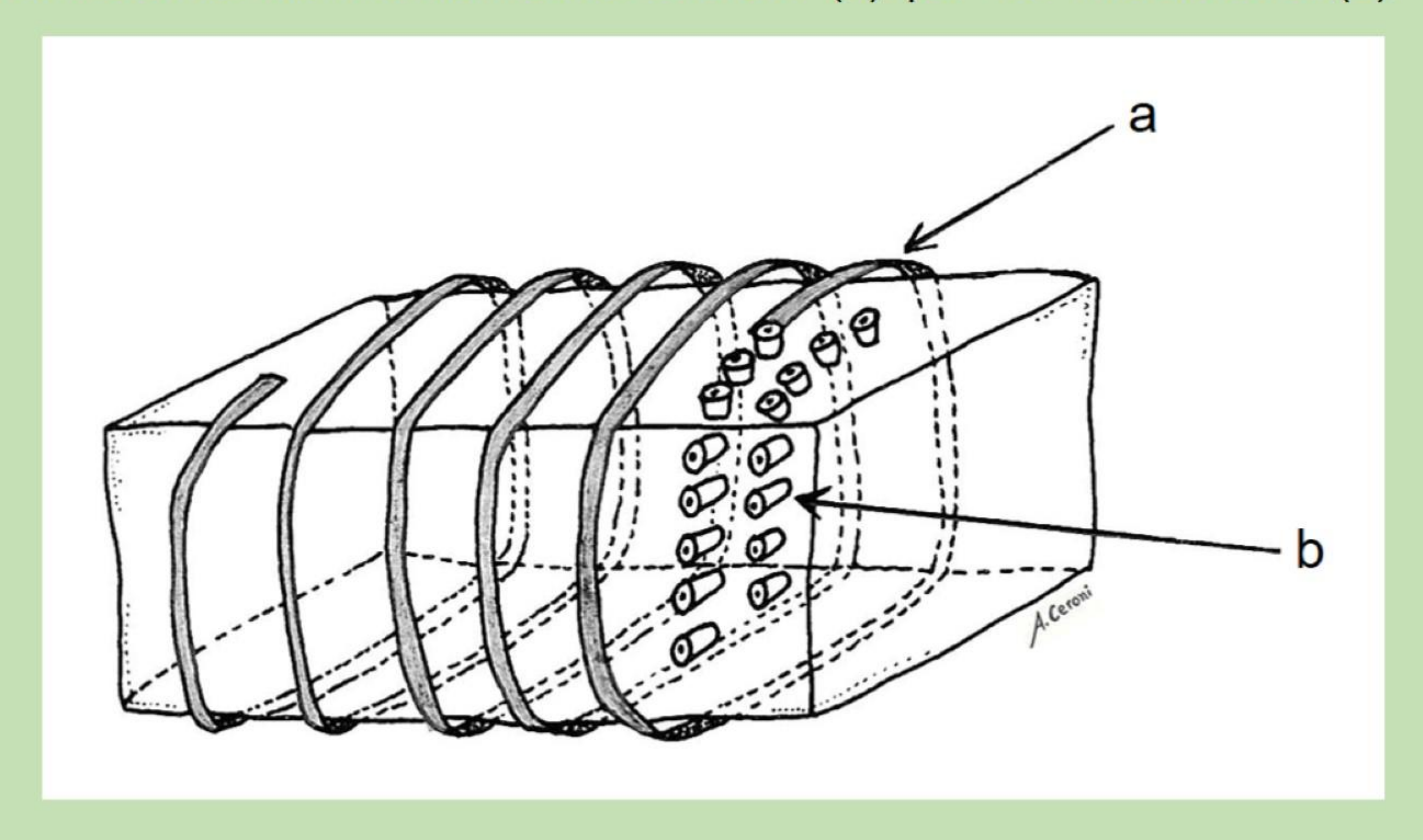
1. Liberación de materiales como pectina (a) por las vesículas de Golgi (b).



2. Síntesis de celulosa (a) por la celulosa sintasa (b).

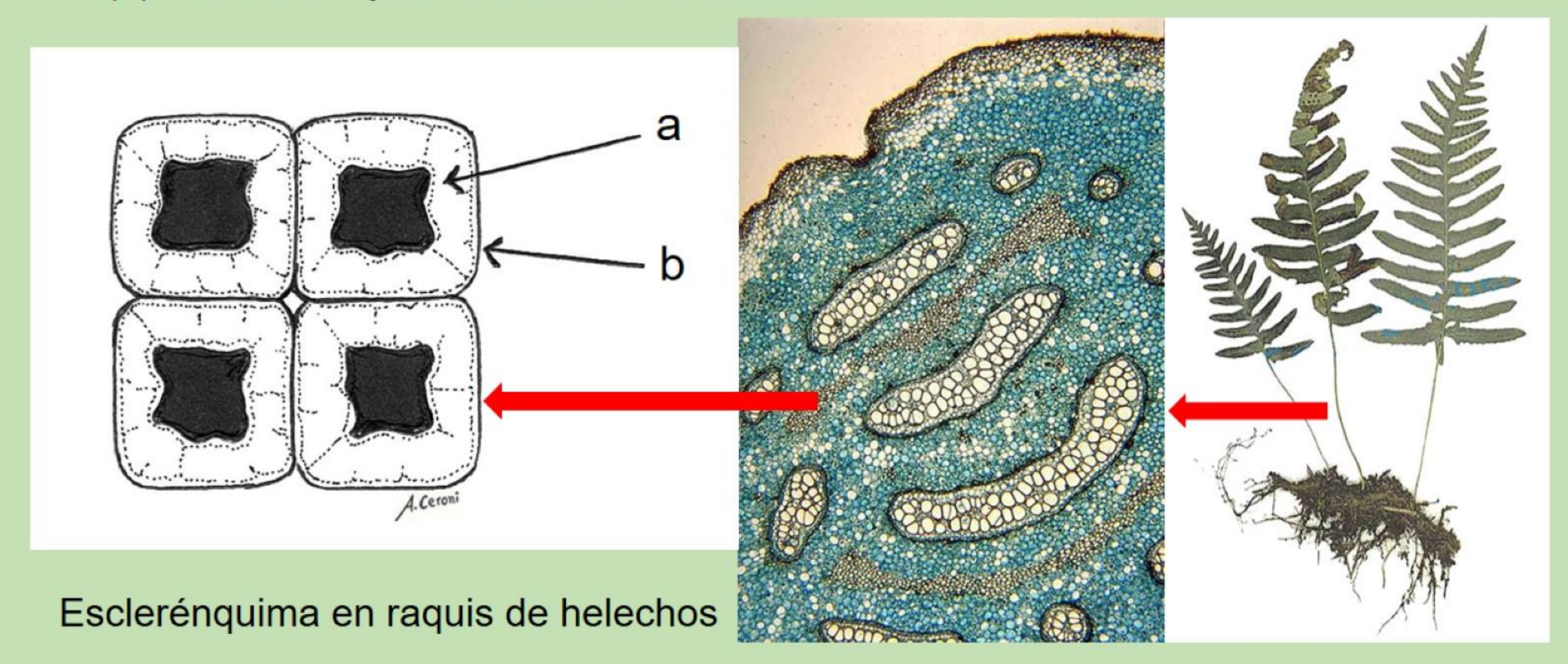


3. Orientación de las microfibrillas de celulosa (a) por los microtúbulos (b).



LIGNIFICACIÓN, SUBERIFICACIÓN Y CUTINIZACIÓN

1. Lignificación: Acumulación de lignina (a) debajo de la pared celular primaria (b). Da dureza y resistencia a la célula.



Esclerénquima en raquis de helechos

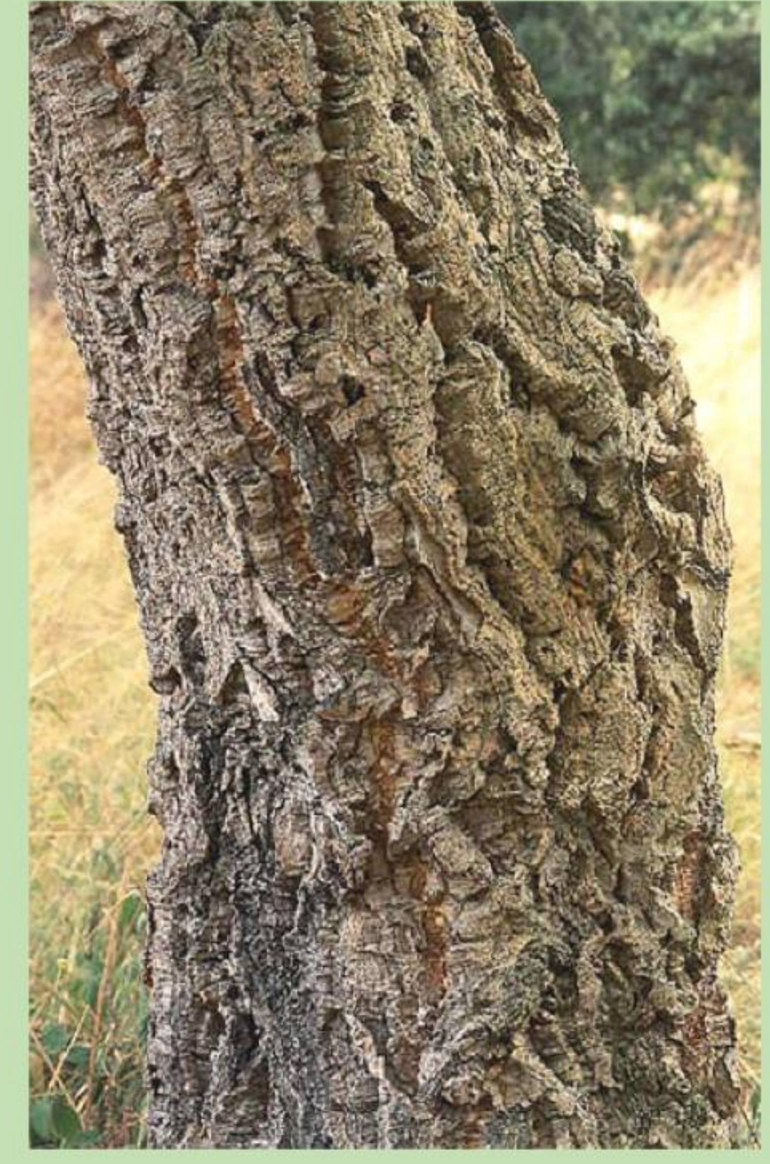
2. Suberificación: Acumulación de suberina (a) en la lámina media (b). Hace a la célula impermeable a los gases y el agua.

a

b

A. Ceroni

Súber en tallos y ramas de árboles



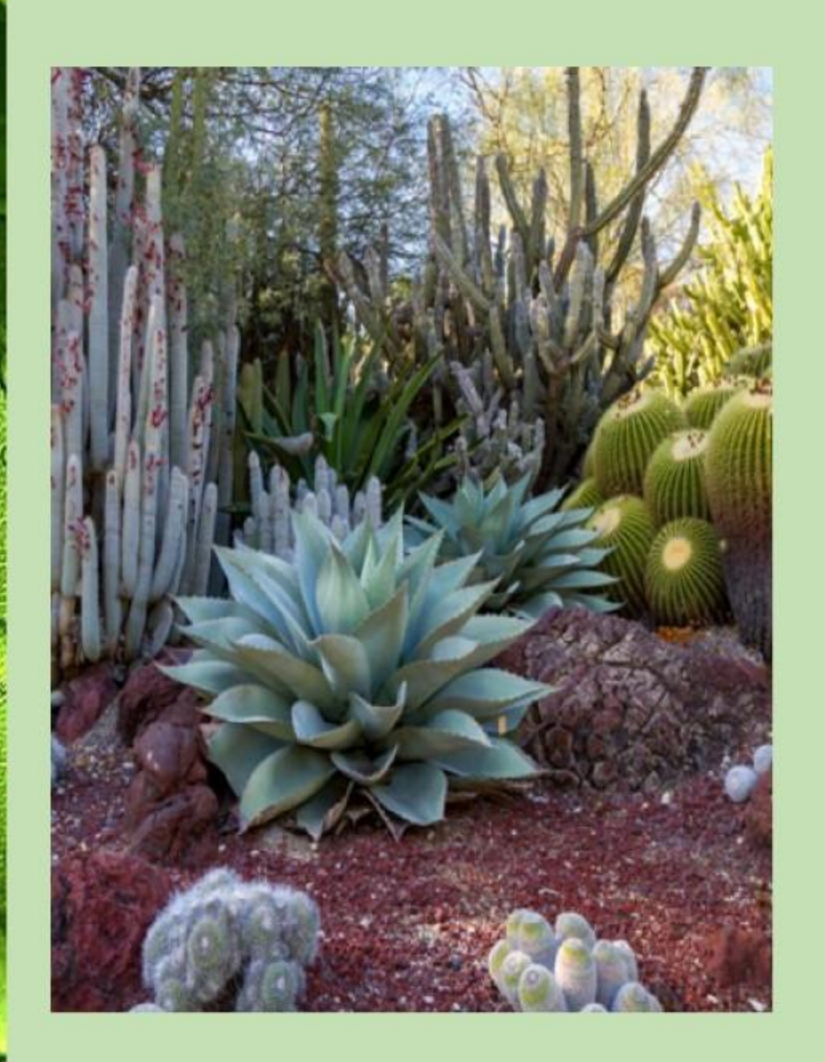
3. Cutinización: Acumulación de cutina (a) en la cara exterior de células epidérmicas (b). Evita la pérdida de agua y excesiva transpiración.

a

b

A. Ceroni

Epidermis en hojas

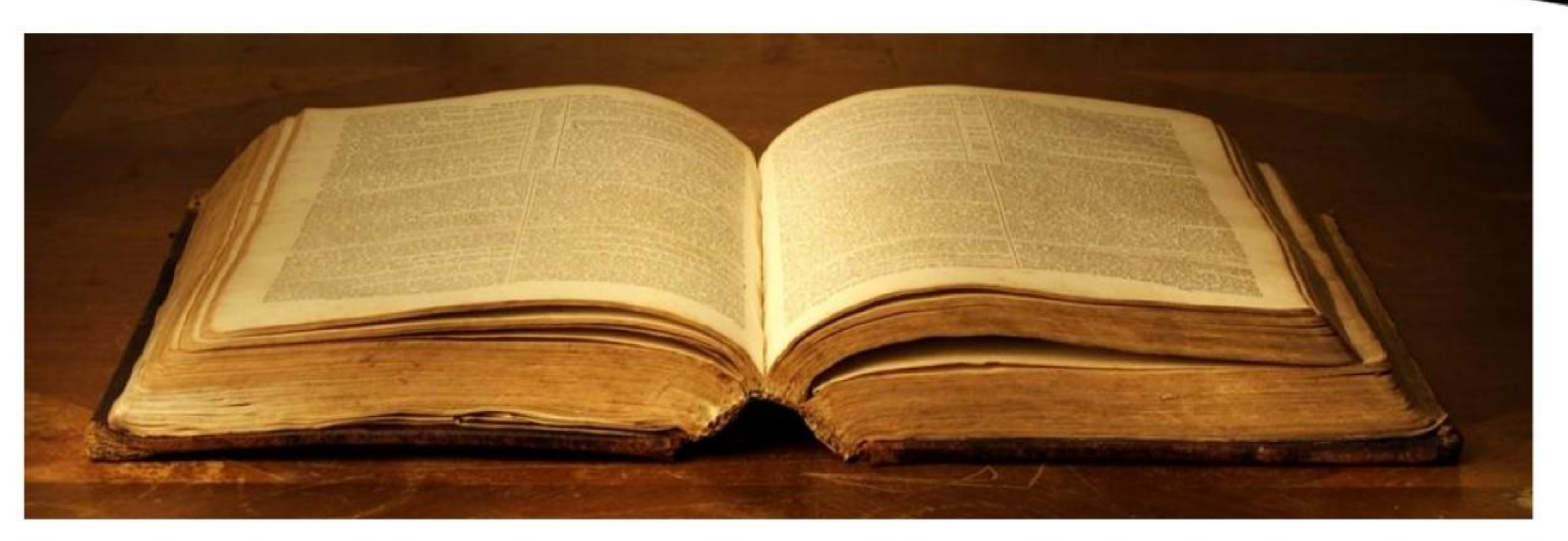


PARED CELULAR PRIMARIA Y SECUNDARIA

Pared celular primaria	Pared celular secundaria
1. Una capa de fibras de celulosa.	1. Varias capas de fibras de celulosa.
2. Celulosa, hemicelulosas, pectinas y glicoproteínas.	2. Celulosa, hemicelulosas, pectinas, glicoproteínas, lignina y suberina.
3. En células jóvenes.	3. En células adultas.
4. En tejidos meristemáticos, de protección, de regeneración, secretores y parenquimáticos.	4. En tejidos de protección, mecánicos y conductores.
5. En partes jóvenes.	5. En partes adultas.

CURIOSIDADES BOTÁNICAS

¿Por qué las hojas de los libros y de los periódicos se vuelven amarillas con el tiempo?



El papel proviene de la madera y esta tiene **celulosa** y **lignina**. Las imprentas suelen usar materiales baratos y por tanto sus papeles **tienen una mayor cantidad de lignina**. Cuando la **lignina** está **en contacto con el sol y el aire se oxida**, las moléculas pierden estabilidad, absorben más luz y se vuelven oscuras. Por eso también las hojas empiezan a oscurecerse por los bordes que están más expuestos a la luz y el aire.

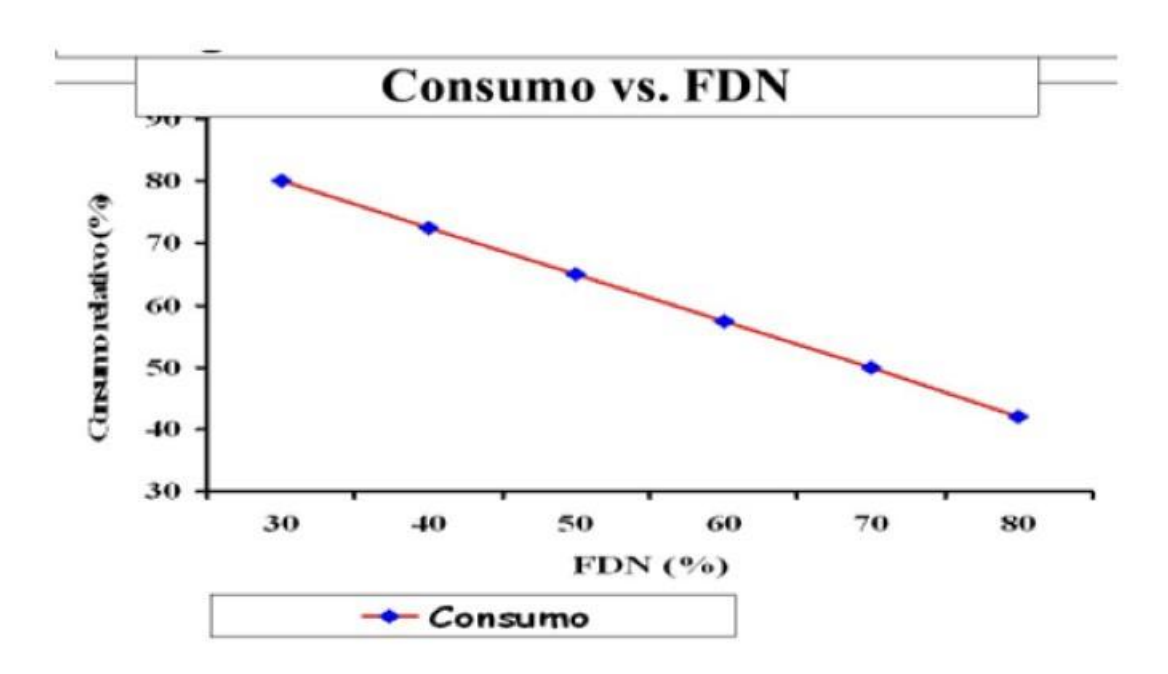
COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR EN LA CALIDAD DEL FORRAJE

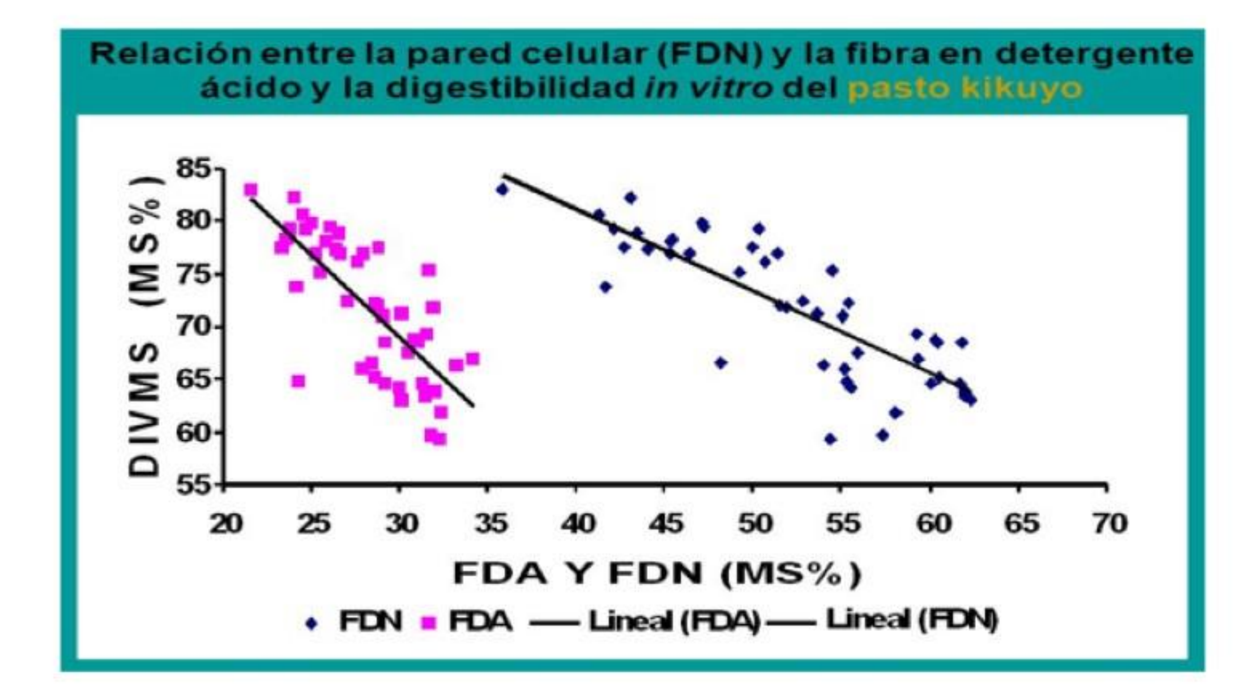


Fibra Detergente Neutro (FDN): medición de la **hemicelulosa**, **celulosa** y **lignina** (parte fibrosa del forraje).

Fibra Detergente Ácido (FDA): cuantificación de la **celulosa** y la **lignina**.







COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS

Tasas de descomposición

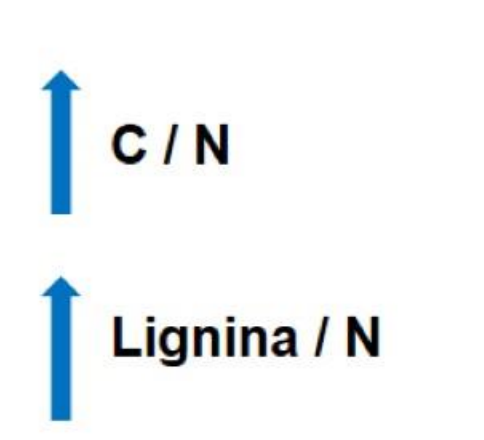
Fertilidad del suelo

Circulación de nutrientes

Substitución de comunidades leñosas por comunidades dominadas por gramíneas

Relación C / N Lignina / N

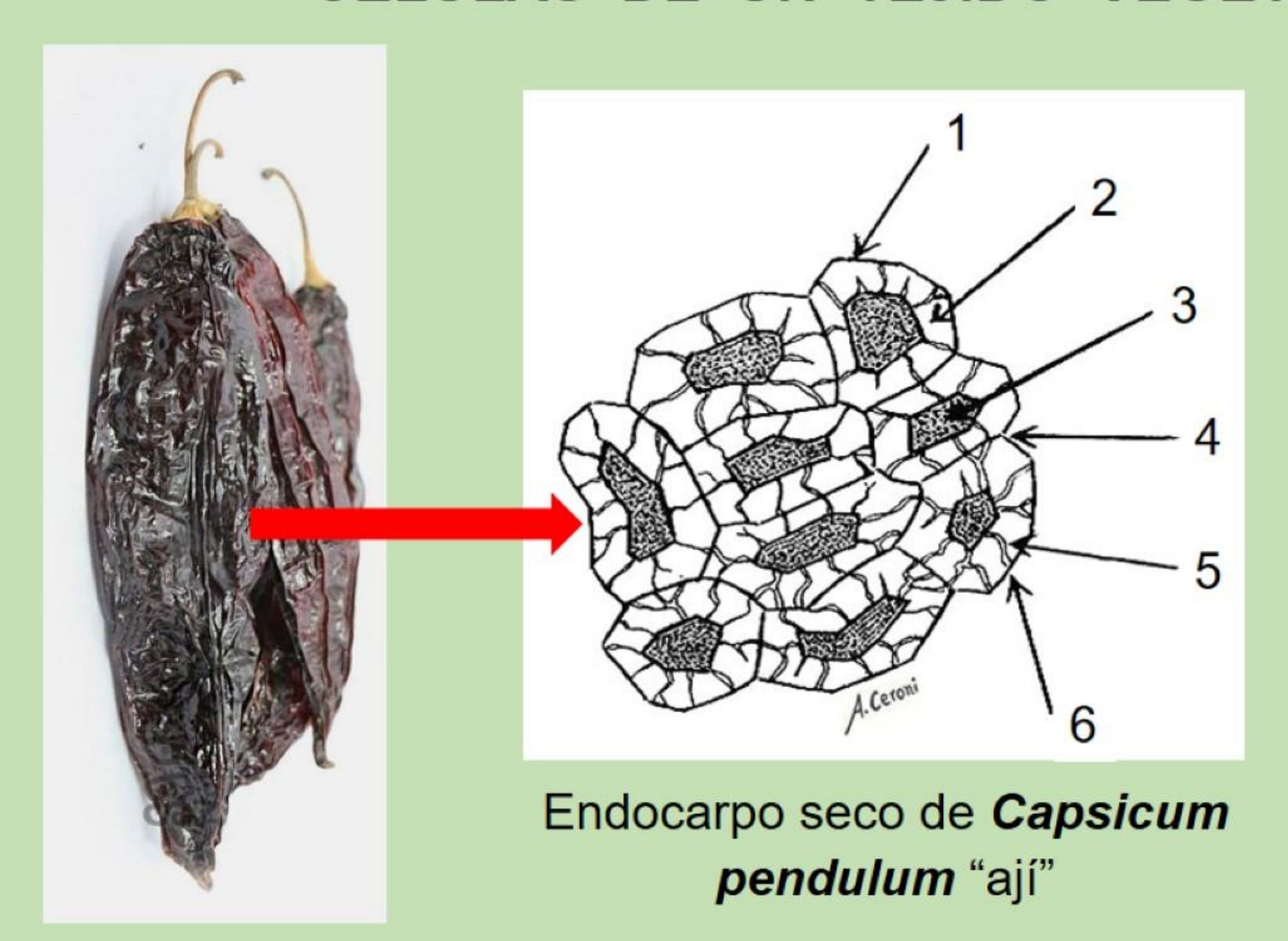




Tejidos vegetales menos palatables a los herbívoros

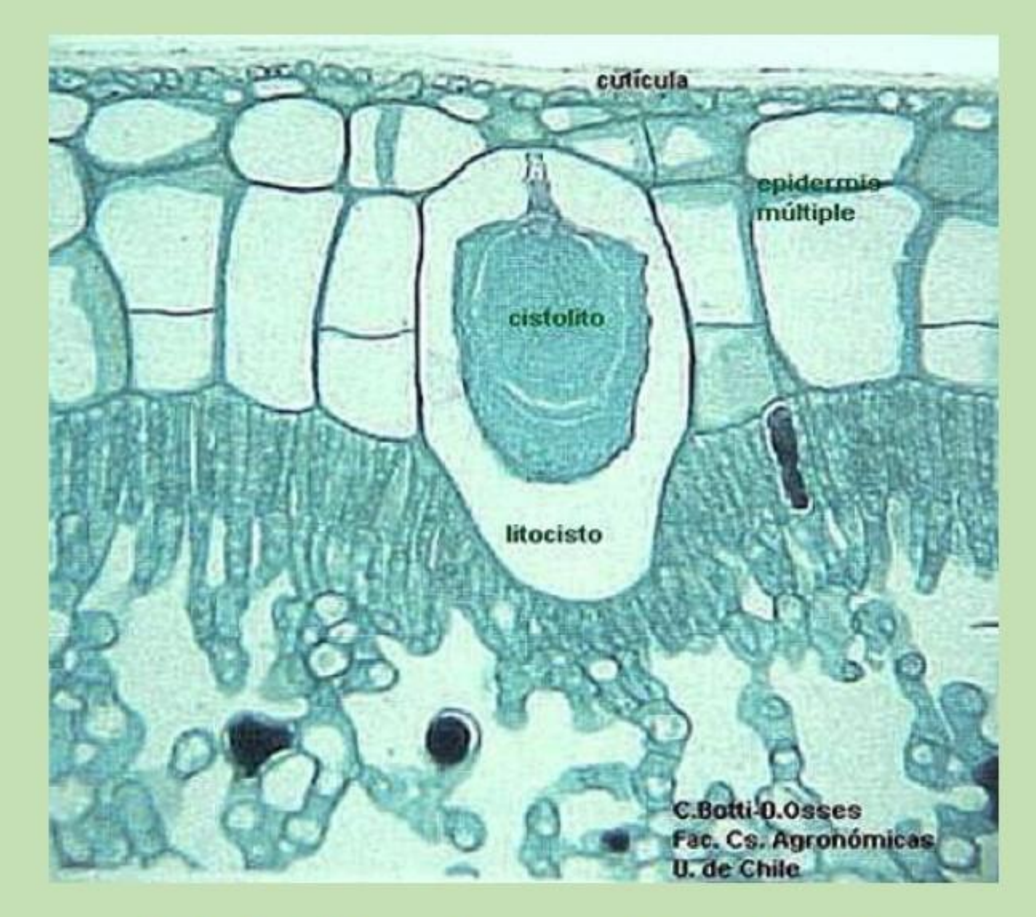
Tasas de mineralización

PARTES ASOCIADAS A LAS PAREDES CELULARES Y CÉLULAS DE UN TEJIDO VEGETAL ADULTO



Endocarpo seco de ***Capsicum pendulum*** "ají"

1. Pared celular primaria;
2. Pared celular secundaria;
3. Lúmen;
4. Lámina media;
5. Canalículo;
6. Plasmodesmo.



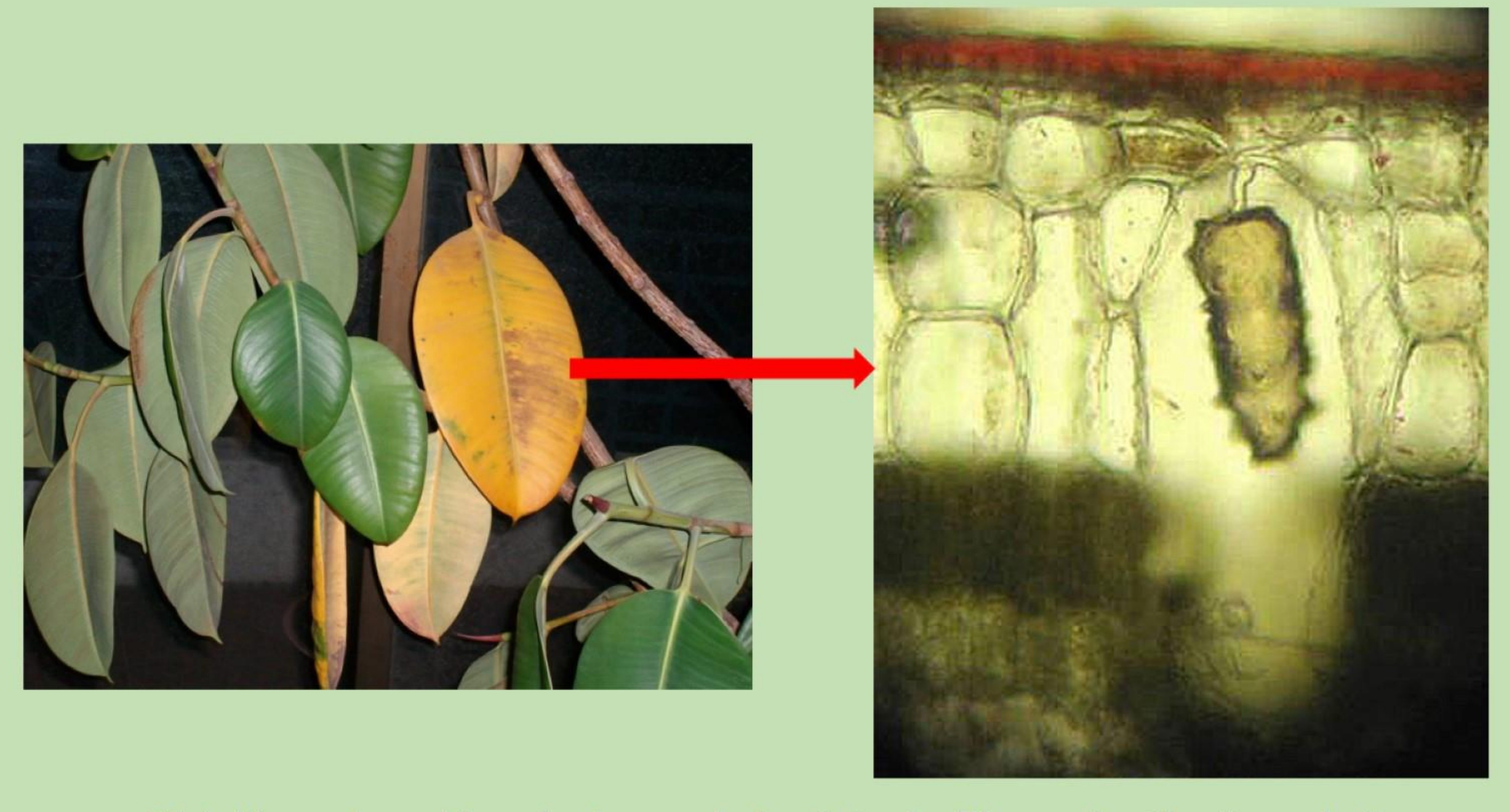
Cistolito: Acumulación de **celulosa** y **carbonato de calcio** en las células epidérmicas de hojas viejas en Moráceas y Urticáceas

7

A. Ceroni

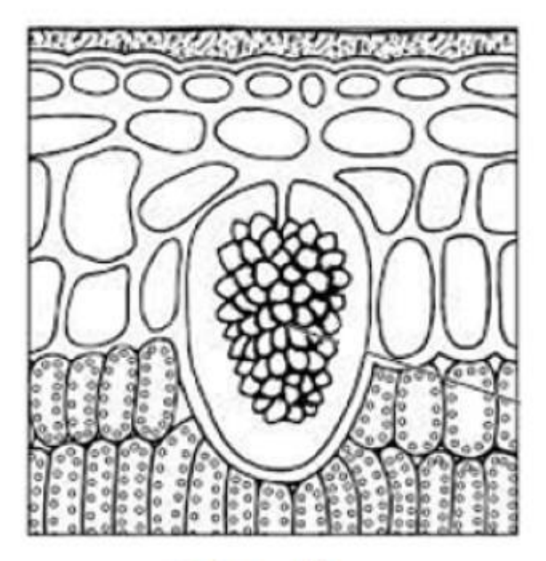
8

7. Célula epidérmica y 8. Cistolito.



Cistolito en la epidermis de una hoja vieja de ***Ficus elastica*** “caucho”

PARTES ASOCIADAS A LA PARED CELULAR COMO CARACTERÍSTICA DE VALOR TAXONÓMICO

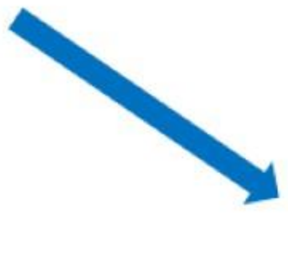




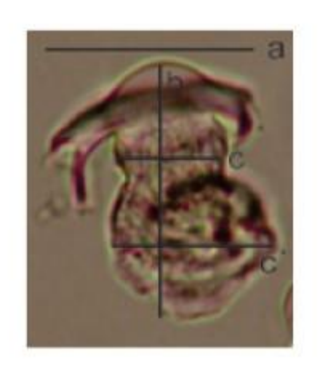
Cistolito

Cannabaceae
Moraceae
Urticaceae

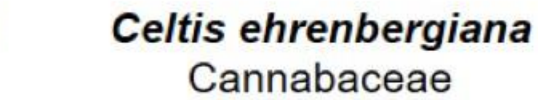
Base poligonal o elíptica
Cuerpo ovoide o redondeado



Base reducida o nula
Cuerpo globoso



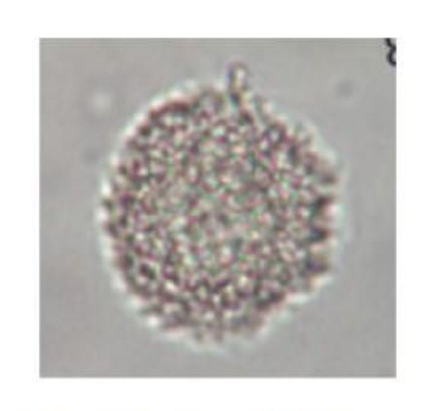
Morus alba
Moraceae



Celtis ehrenbergiana
Cannabaceae



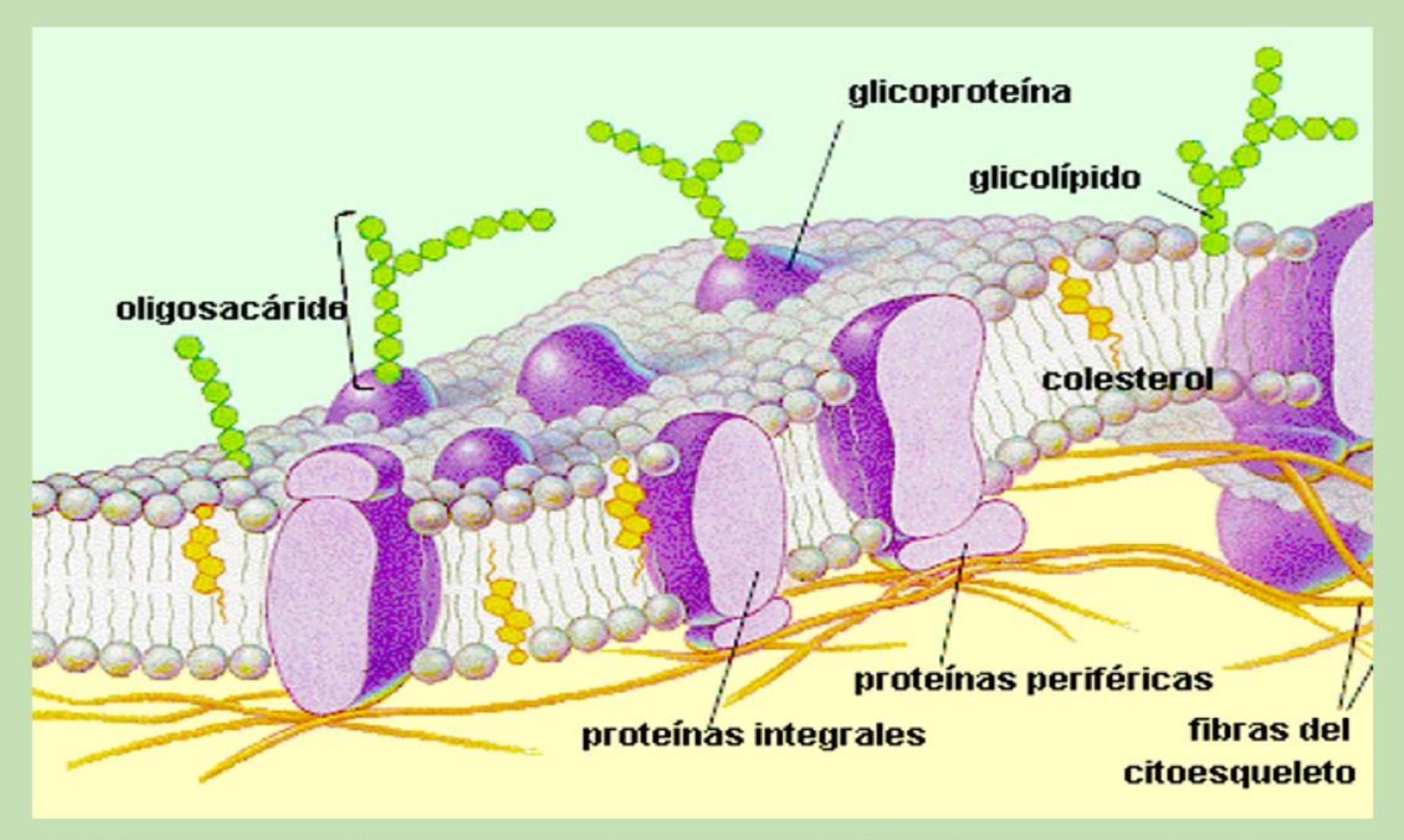
Urtica urens
Urticaceae



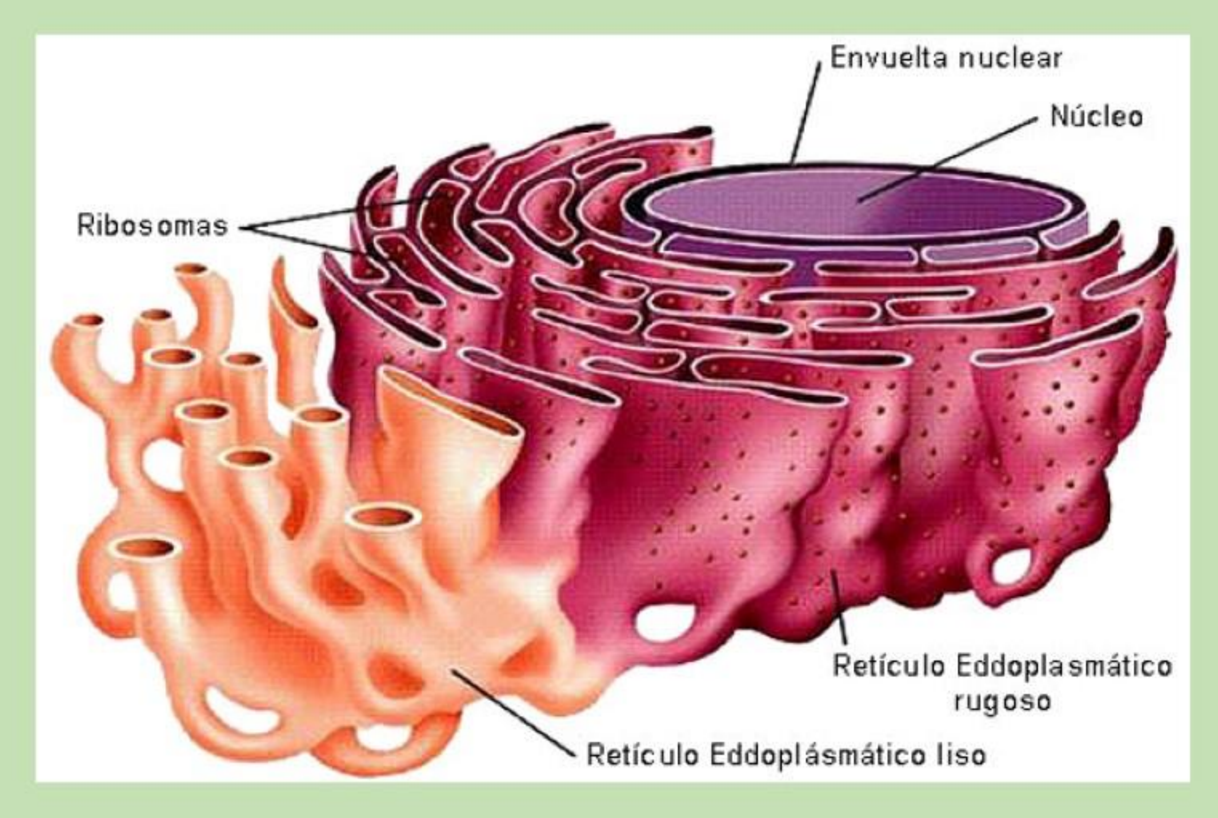
Parietaria debilis
Urticaceae

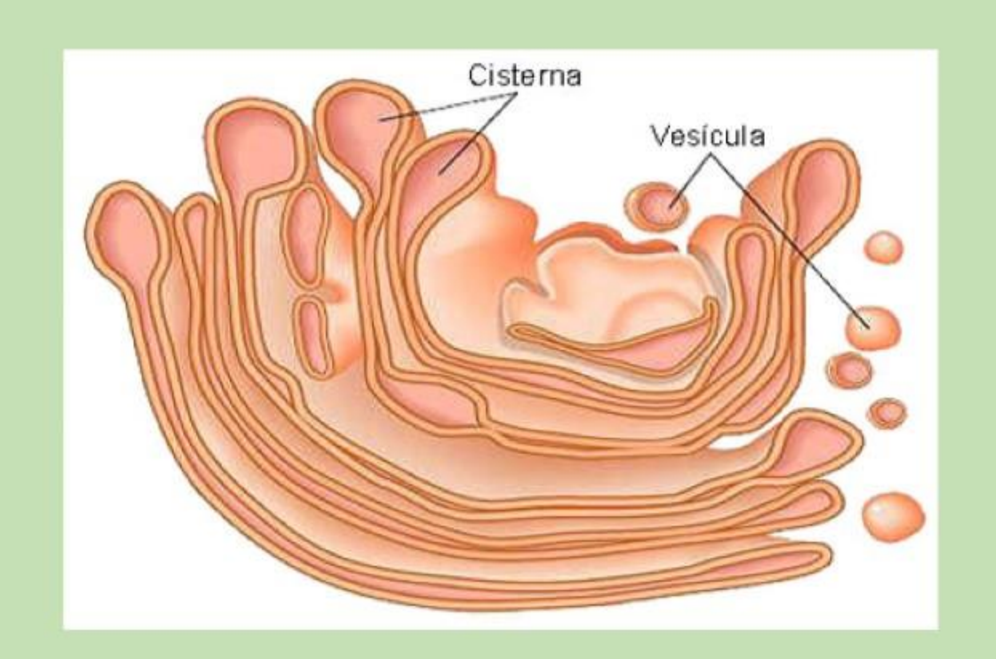
Característica de valor taxonómico en plantas vivas y en paleobotánica

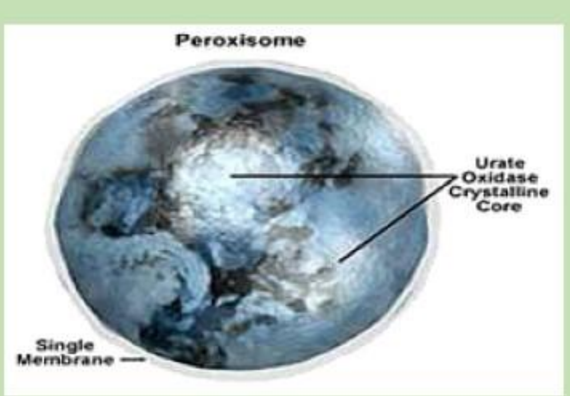
MEMBRANA PLASMÁTICA



Bicapa de lípidos; proteínas receptoras; catalizadoras; estructurales; canales proteicos; glicoproteínas y oligosacáridos.





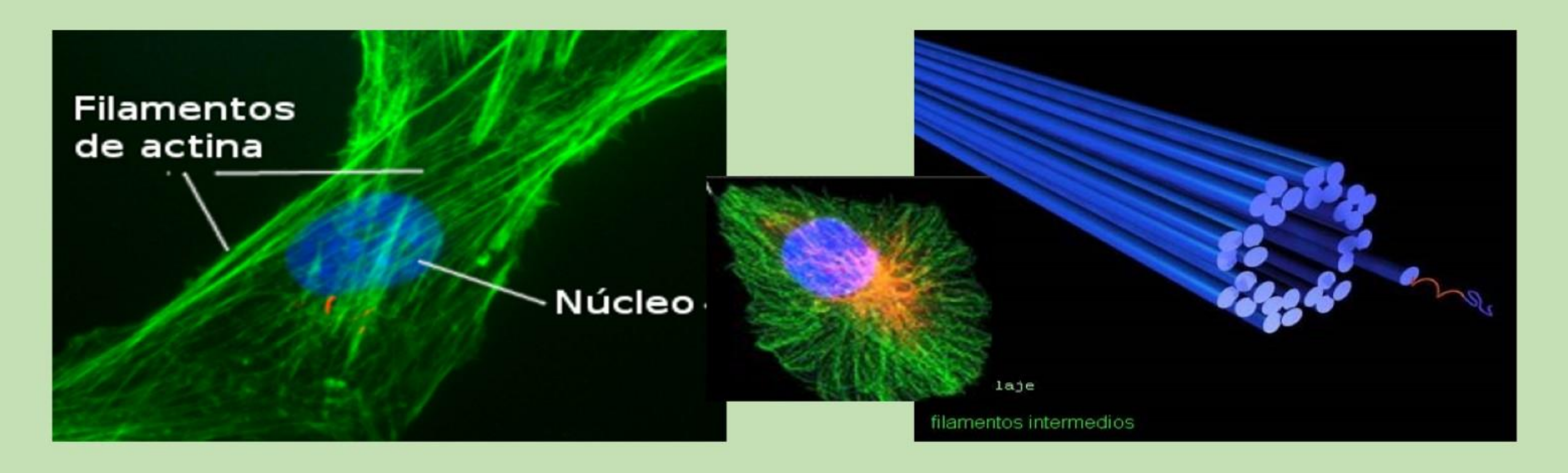




Retículo endoplasmático rugoso y liso; aparato de Golgi con vesículas y microcuerpos (peroxisomas o glioxisomas).

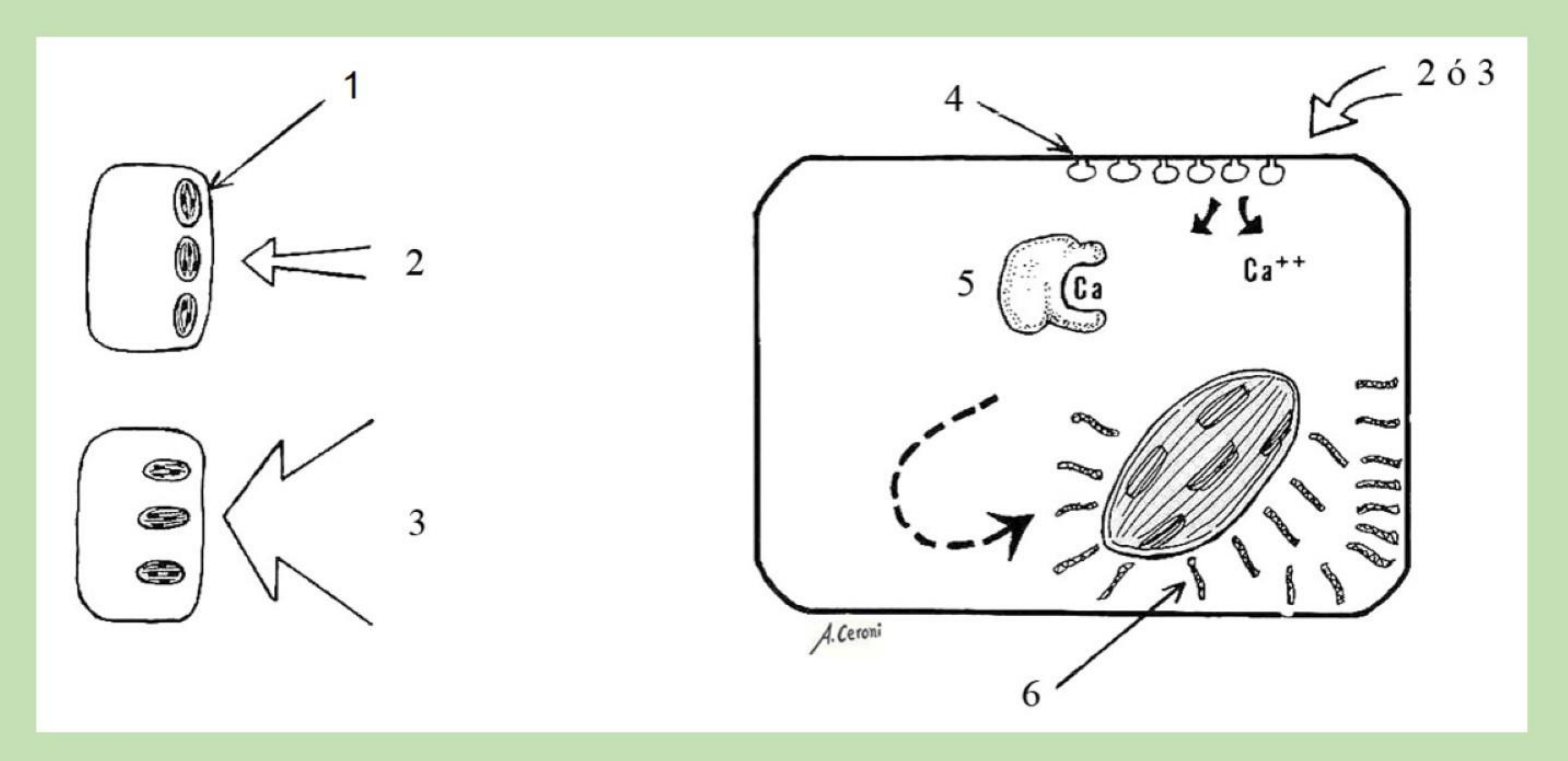
CITOESQUELETO

Es aquel que proporciona a la célula la maquinaria necesaria para el **movimiento de los organelos** en el citoplasma y realizar **movimientos de coordinación**.

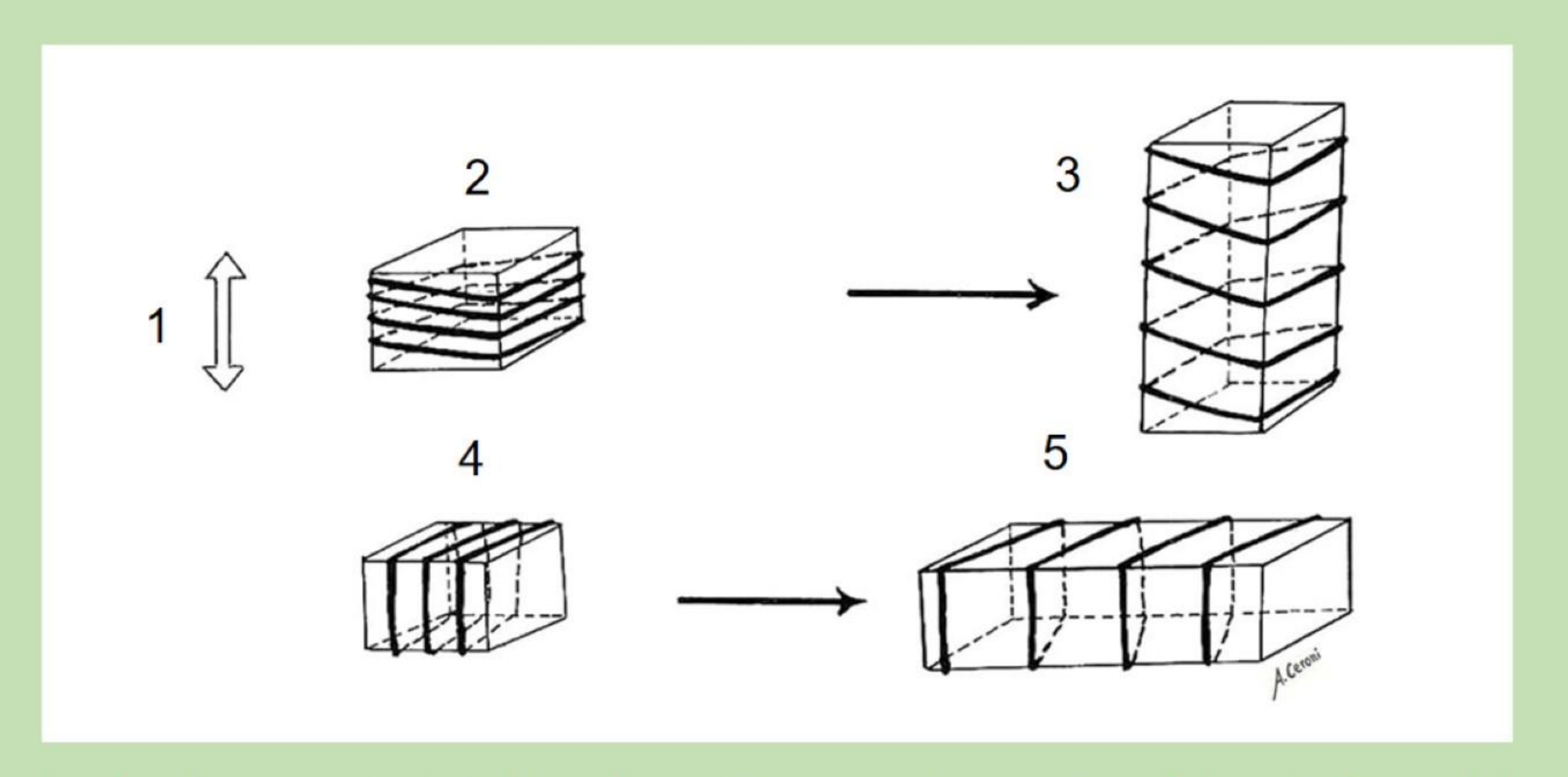


Filamentos de actina, **microtúbulos** y **filamentos intermedios**

Para el caso de la célula vegetal este juega un rol importante en varios casos



Respuesta de los cloroplastos a los cambios de luz: 1. Cloroplastos; 2. Luz débil; 3. Luz fuerte; 4. Fotorreceptores; 5. Proteína fijadora de calcio y 6. **Filamentos de actina**.



Orientación de las microfibrillas de celulosa en la pared celular: 1. Eje celular; 2. Con giberelina, **microtúbulos** y microfibrillas perpendiculares al eje celular; 3. Crecimiento longitudinal de la célula; 4. Con etileno, **microtúbulos** y microfibrillas paralelas al eje celular y 5. Crecimiento lateral de la célula.

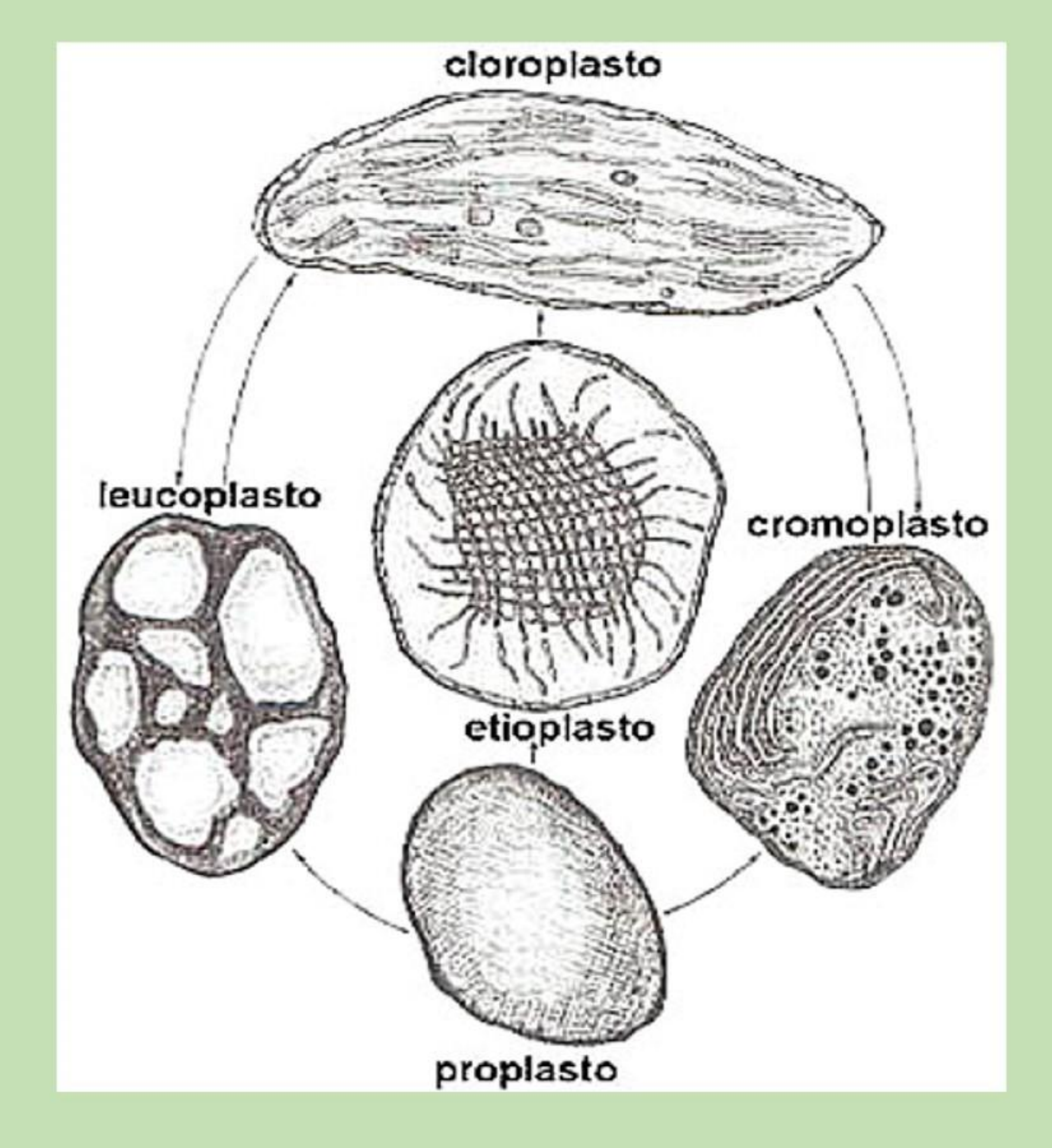
LOS PLASTIDIOS

Junto con la pared celular y la vacuola, los plastidios son componentes característicos de la célula vegetal.

Son organelos que se caracterizan por tener una **doble membrana**, que internamente puede diferenciarse en un **sistema de membranas** y una sustancia más o menos homogénea que es el **estroma**.

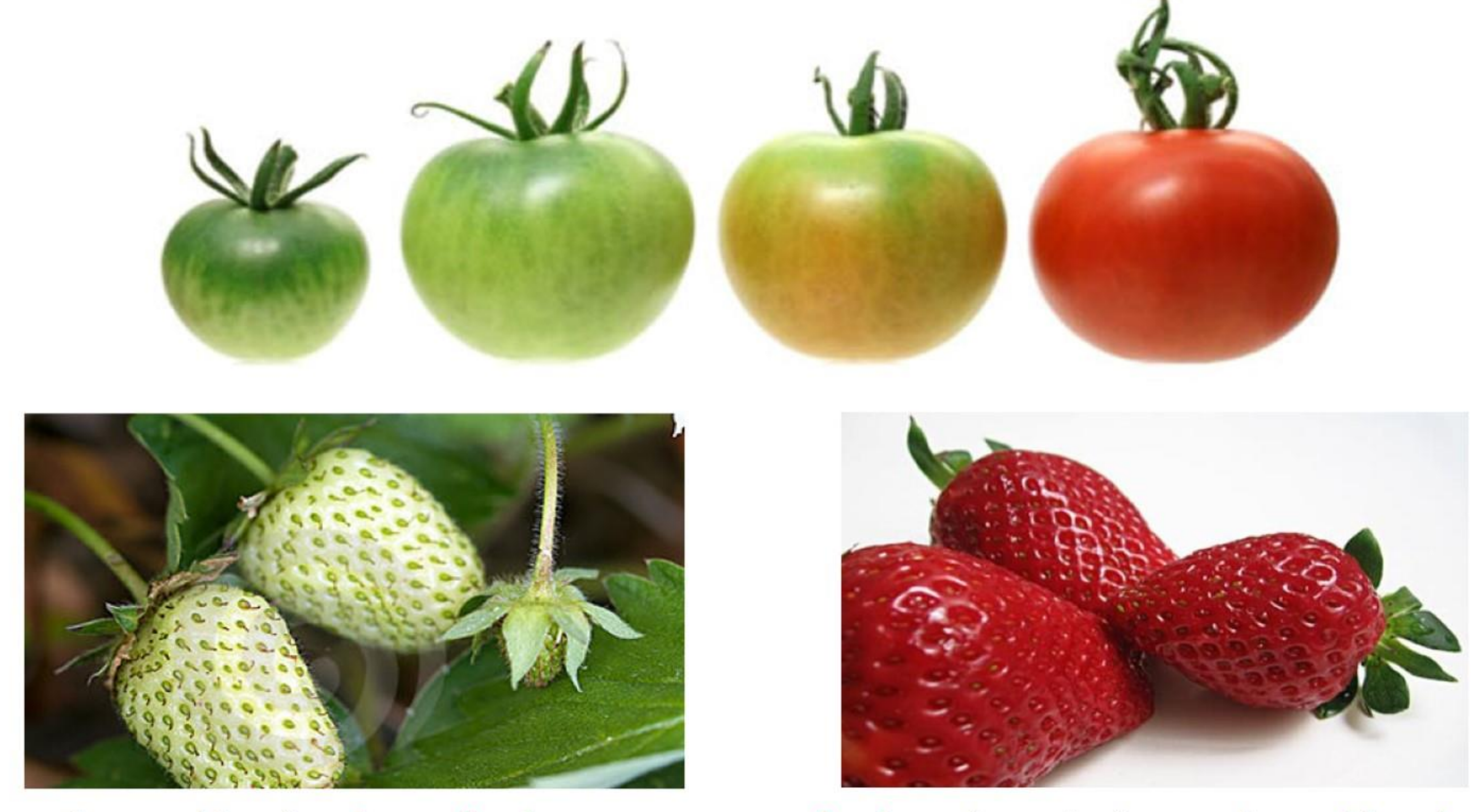
Pueden sintetizar y almacenar diferentes tipos de **pigmentos**.

Según el tipo de pigmento que contengan se clasifican en: **cloroplastos**, **cromoplastos** y **leucoplastos**.



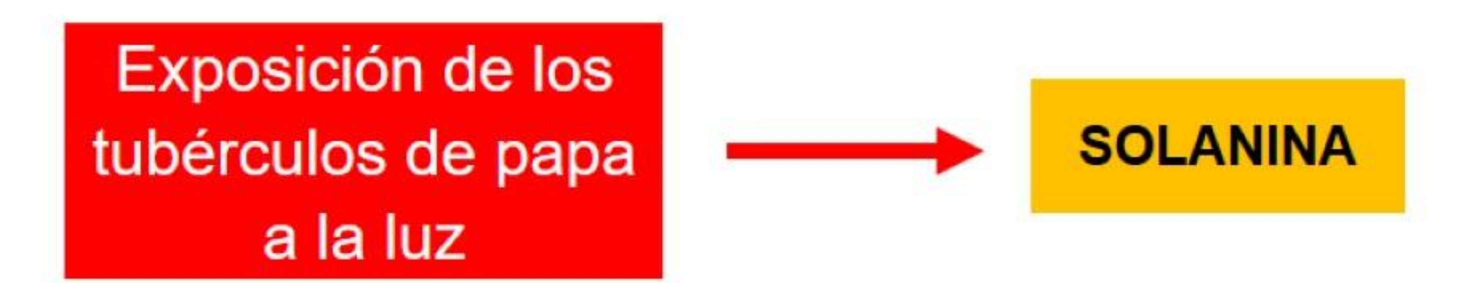
Los diferentes tipos de plastidios provienen de un **proplasto** o **proplastidio**.

De ahí que pueda suceder una transformación de un plastidio en otro.



Transformación de cloroplastos en cromoplastos durante la **maduración de los frutos**.

Transformación de leucoplastos en cloroplastos durante la **exposición de los tubérculos de papa a la luz**.



Cuidado en el almacenamiento de los tubérculos

CLOROPLASTOS

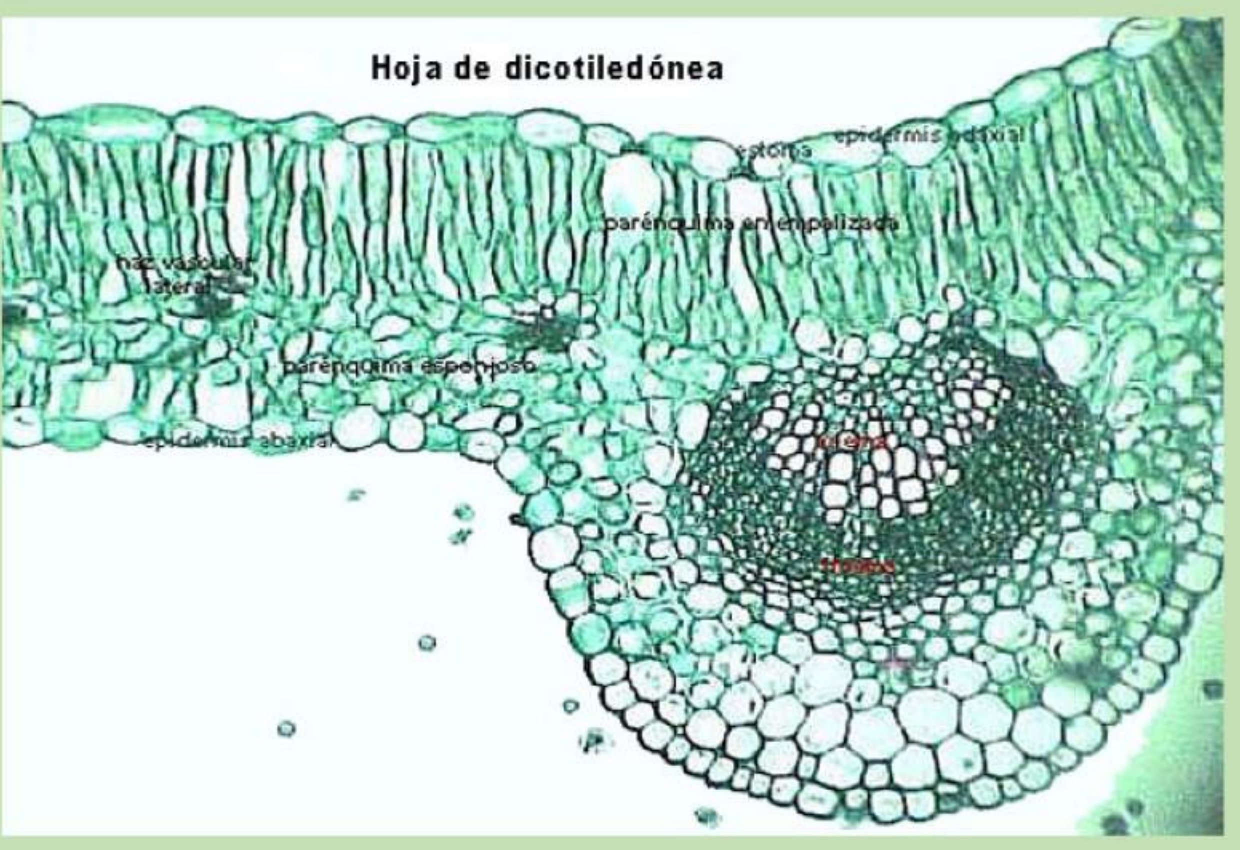
Ubicación





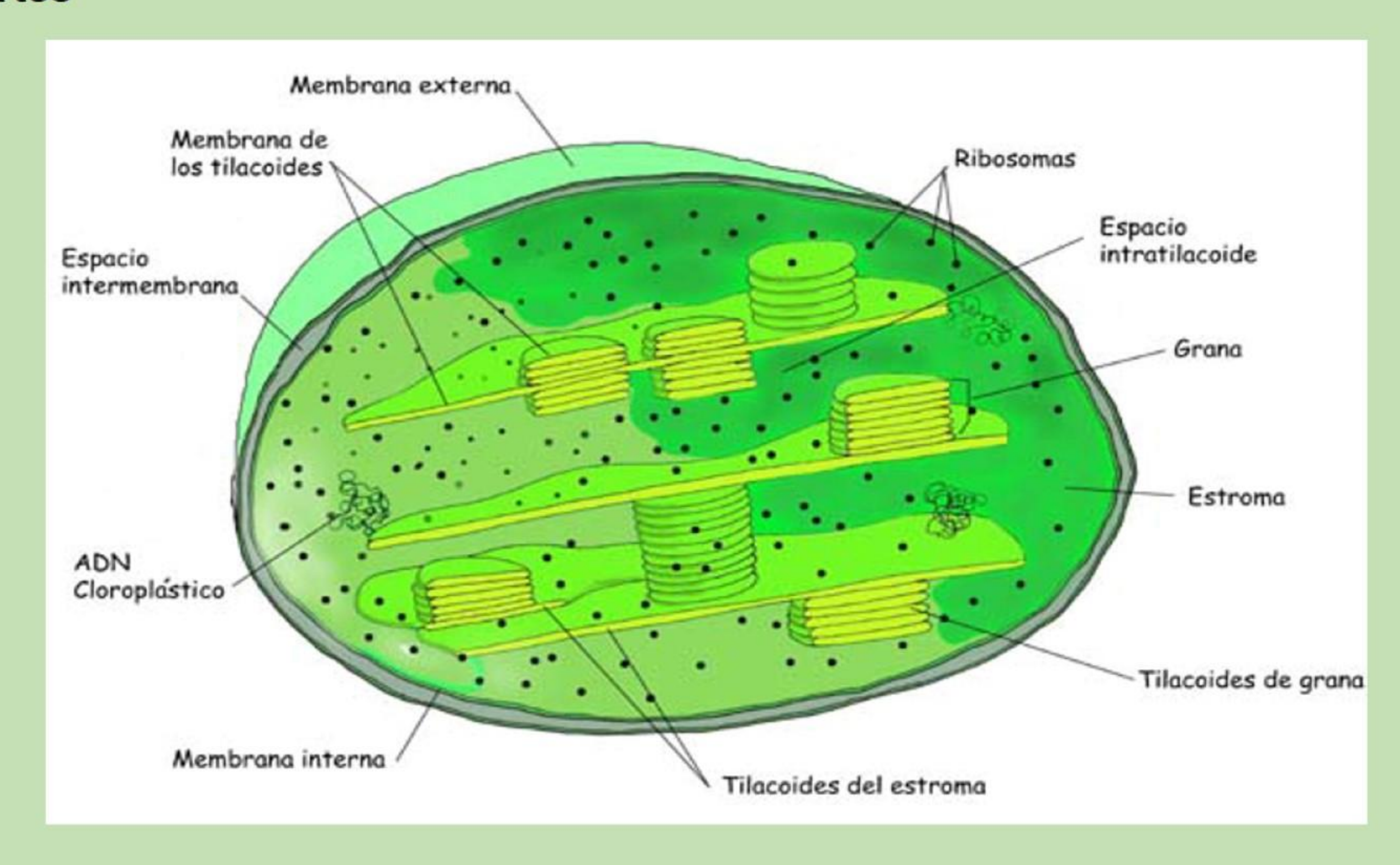


En tallos verdes y hojas



Mesófilo de la hoja

Partes



Membrana externa
Membrana de
los tilacoides
Ribosomas
Espacio
intratilacoide
Espacio
intermembrana
Grana
Estroma
ADN
Cloroplástico
Tilacoides de grana
Membrana interna
Tilacoides del estroma

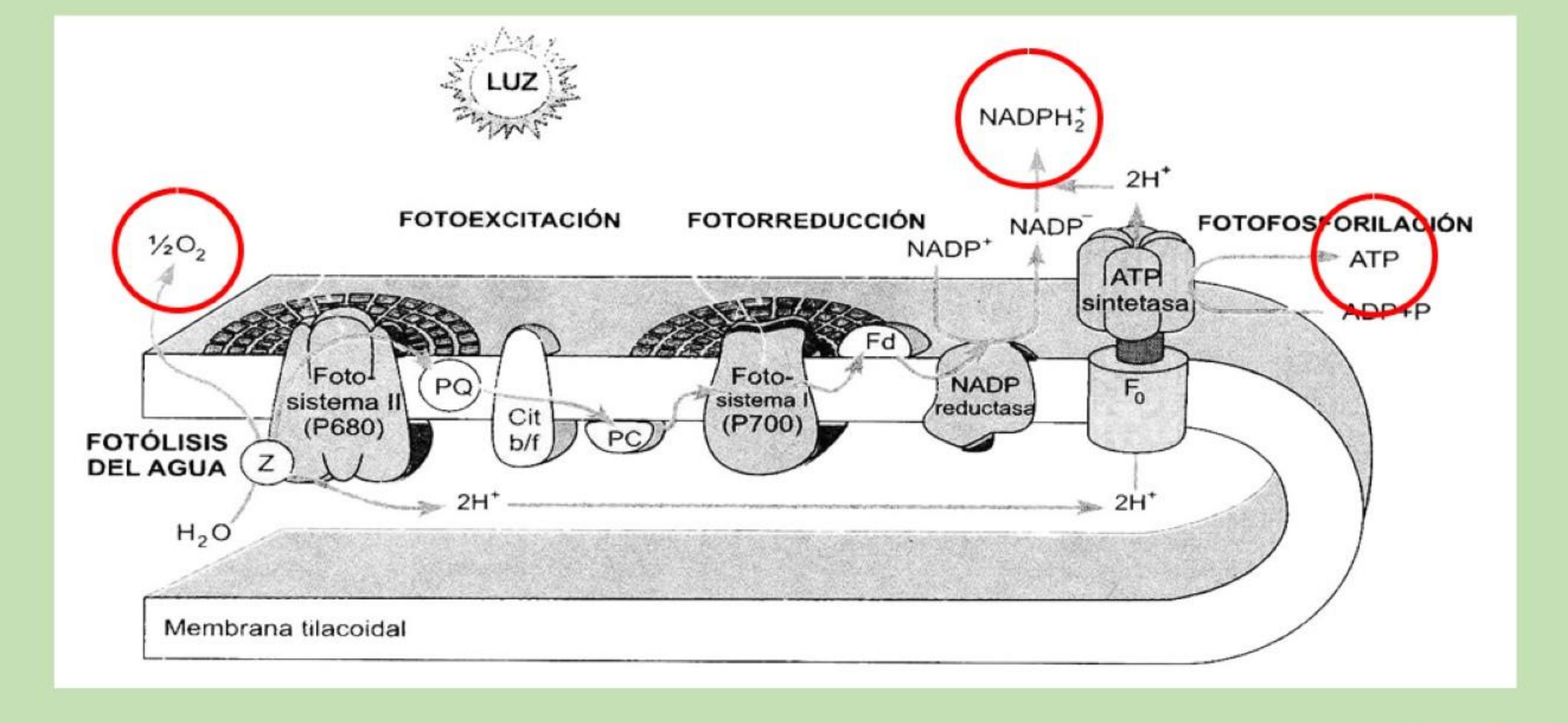
FOTOSÍNTESIS

1. Fase luminosa

El mejor modelo para explicar el transporte fotosintético de electrones en organismos cuyo proceso fotosintético involucra el desprendimiento de oxígeno, es aquel que incluye 2 reacciones fotoquímicas que actúan cooperativamente en serie:

El **fotosistema II** que genera en la luz un **oxidante fuerte** capaz de reaccionar con el agua para generar oxígeno mediante una reacción conocida como **reacción de Hill** o **fotólisis del agua**.

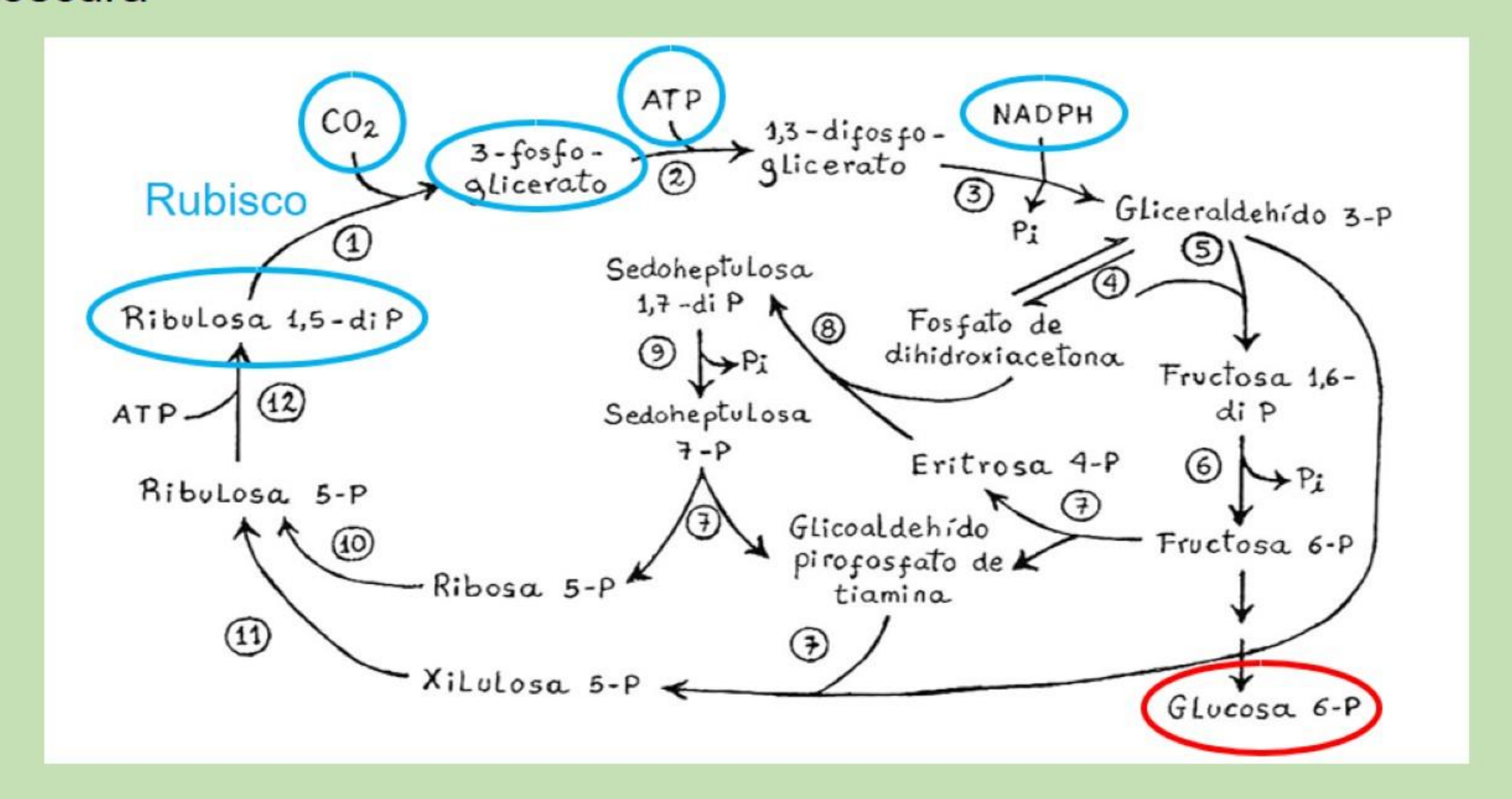
El **fotosistema I** que genera en la luz un **reductor fuerte** que realiza la **reducción del NADP**.



Sólo las 2 reacciones que ocurren en los fotosistemas son **endergónicas**, mientras que todas las demás son **exergónicas**.

Toda esta energía liberada crea un gradiente electroquímico que luego impulsa la **síntesis de ATP** por la acción del complejo enzimático **ATP sintetasa**.

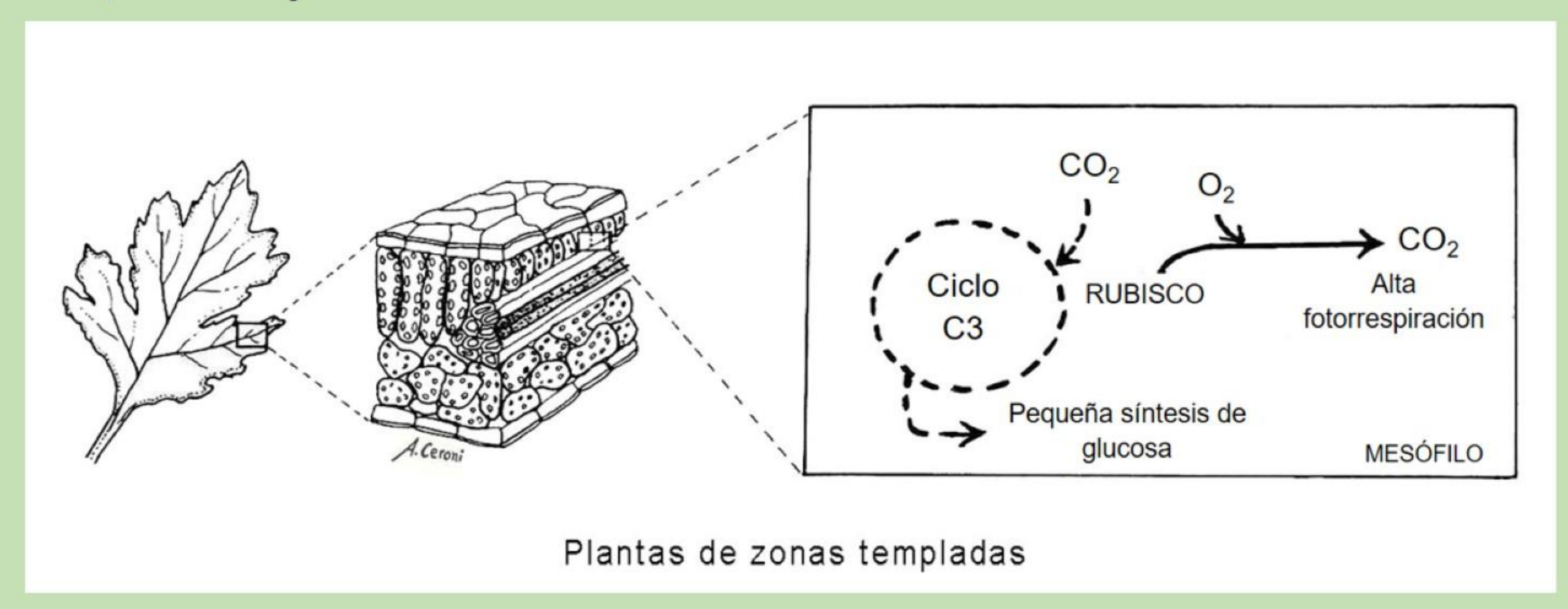
2. Fase oscura



Ciclo de Calvin & Benson: 1. Carboxilación; 2 - 3. Reducción y 5 - 12. Regeneración. Enzimas propias del ciclo: 1. Ribulosa 1,5 - difosfato carboxilasa / oxigenasa (**Rubisco**) y 12. Ribulosa 5 - fosfato quinasa.

TIPOS DE FOTOSÍNTESIS

1. En plantas C_3



Plantas de zonas templadas

Fijación del CO_2 en el mesófilo de la hoja a través del ciclo de Calvin & Benson (ciclo C_3). La **síntesis de glucosa es baja**, mientras que la **fotorrespiración es alta**.

Alrededor del **50% del CO_2 se pierde por fotorrespiración**

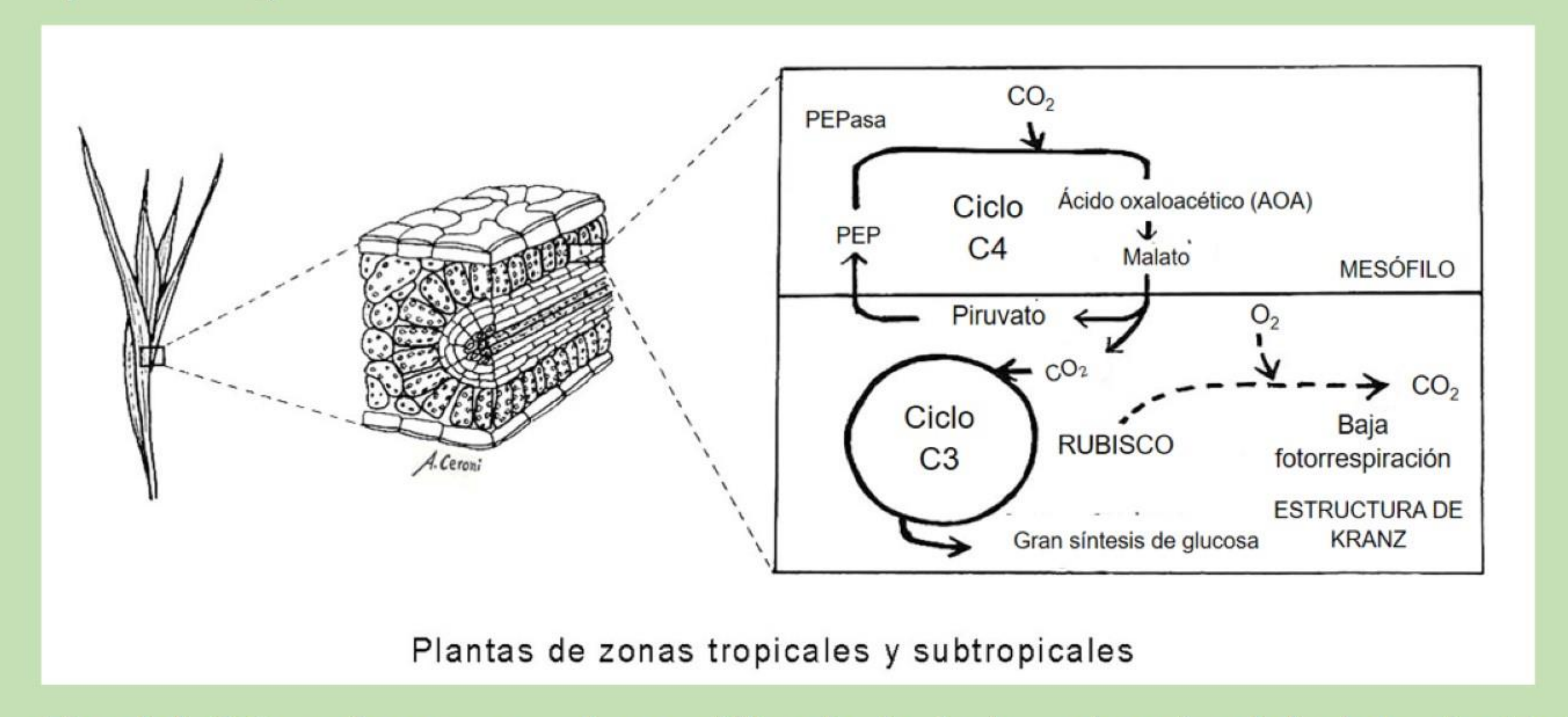






Muchas especies vegetales de climas templados como el “girasol”, “trigo”, “tomate”, “espinaca”, “avena”, “centeno”, “arroz”, etc. dependen únicamente de esta vía y por ello se denominan plantas C_3.

2. En plantas C_4



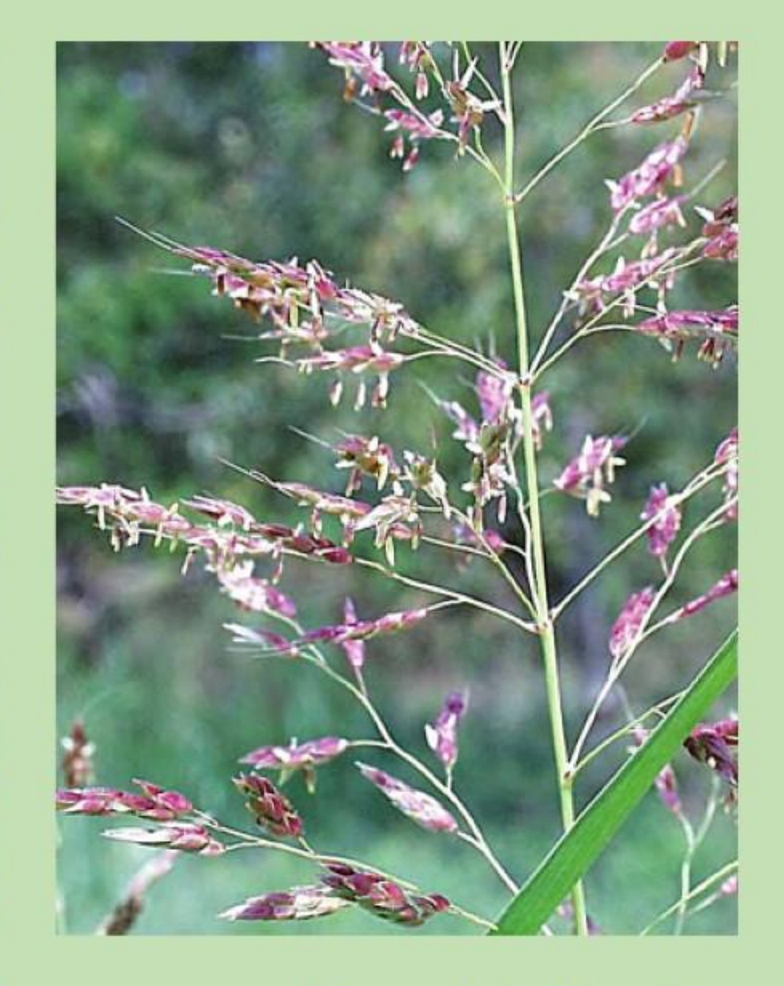
Plantas de zonas tropicales y subtropicales

Fijación del CO_2 primero en el mesófilo de la hoja a través del ciclo de Hatch-Slack (ciclo C_4) y luego en la estructura de Kranz a través del ciclo de Calvin & Benson (ciclo C_3). La **síntesis de glucosa es alta**, mientras que la **fotorrespiración es baja**.

Las plantas C_4 son **fotosintéticamente 2 ó 3 veces más eficientes**

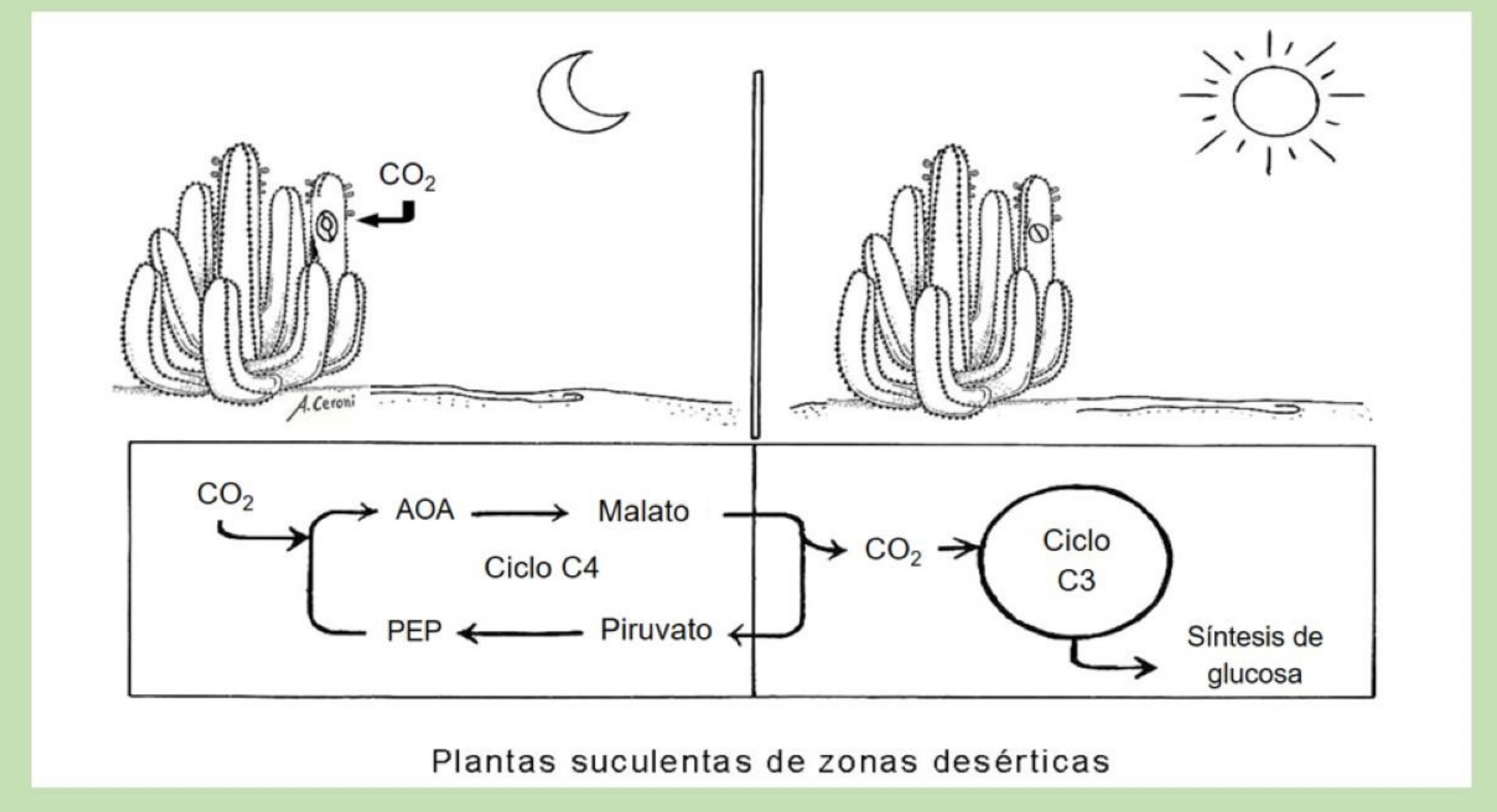






Las especies vegetales de zonas tropicales y subtropicales como el "maíz", "caña de azúcar", "sorgo", "amaranto", etc. poseen esta vía auxiliar y por ello se denominan plantas C_4.

3. En plantas CAM



Fijación del CO_2 primero en la noche, con los estomas abiertos, a través del ciclo de Hatch-Slack (ciclo C_4) y luego en el día, con los estomas cerrados, a través del ciclo de Calvin & Benson (ciclo C_3), **evitando la deshidratación**.

Las plantas CAM al tomar el CO_2 en la noche **no se deshidratan** y por eso están bien adaptadas para vivir en ambientes desérticos.



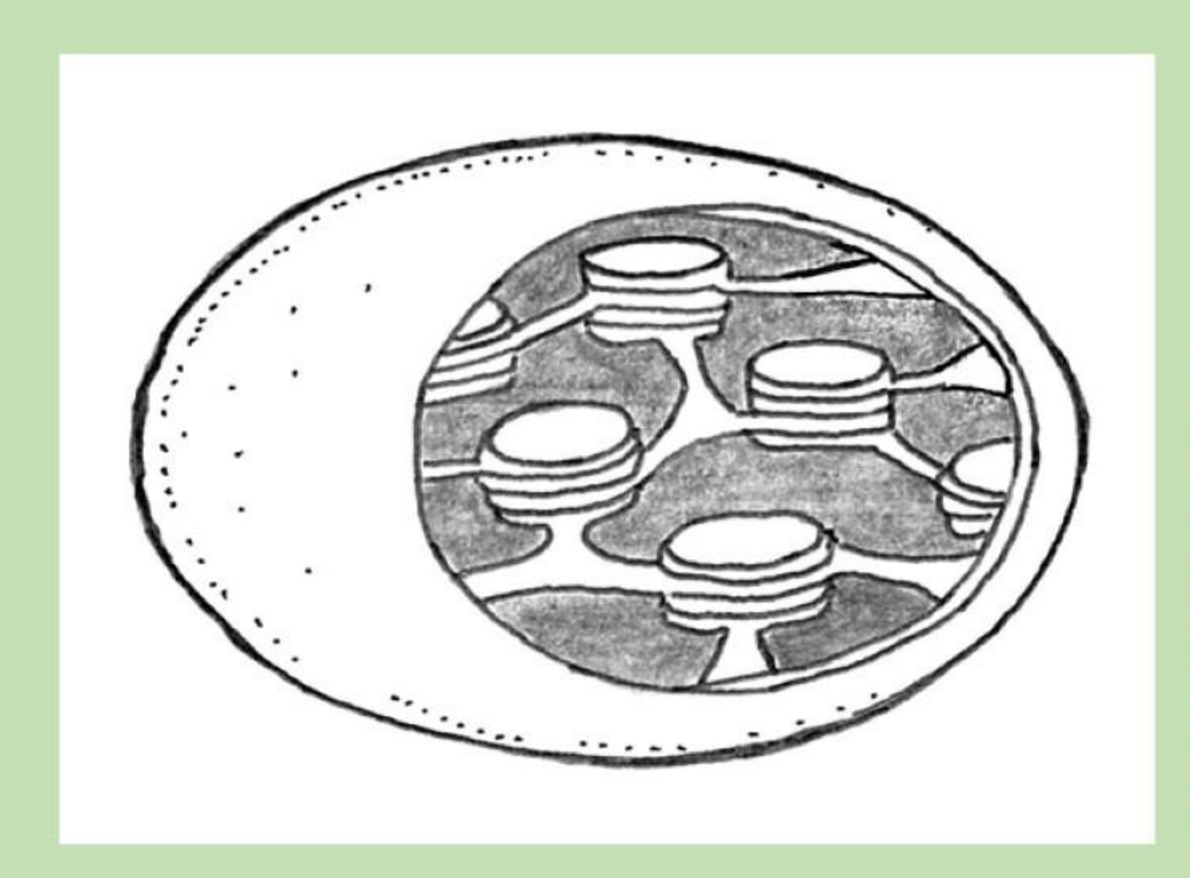


Especies vegetales como la “piña”, “kalanchoe”, “tilansia”, “bromelia”, “sanseviera”, “welwistschia”, “cactus”, etc. tienen como mecanismo adaptativo el **metabolismo ácido crasuláceo** o CAM, descubierto inicialmente en plantas de la familia Crassulaceae, y por ello se denominan plantas CAM.

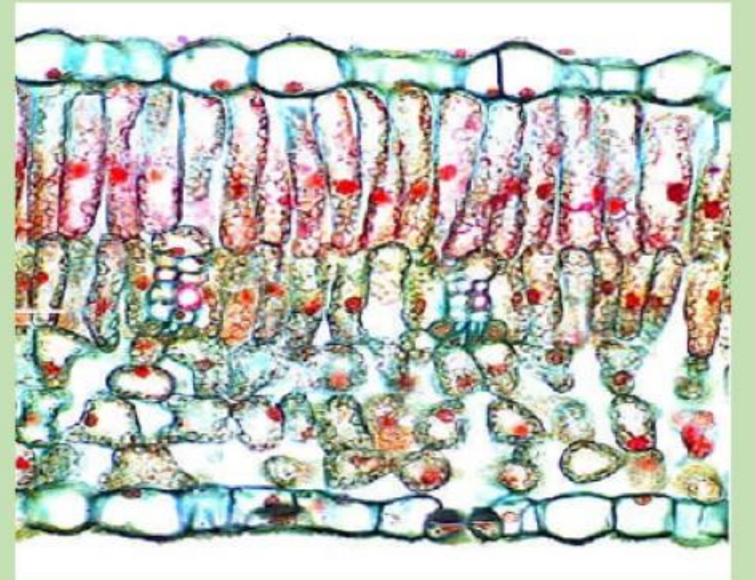
DIMORFISMO DE CLOROPLASTOS

La estructura del cloroplasto puede variar según el tipo de fotosíntesis:

1. En plantas C_3

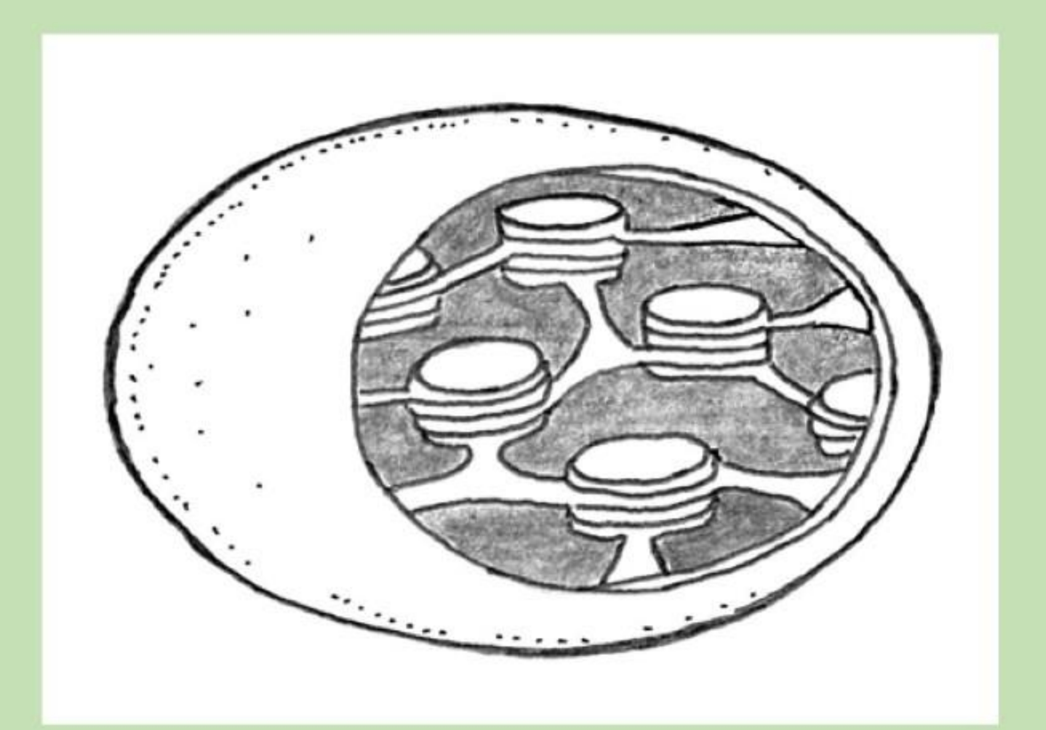


Existe **un solo tipo de cloroplasto con grana y rubisco**, en donde se realiza la fase luminosa en el grana y la fase oscura en el estroma.



En todas las células del mesófilo de la hoja

2. En plantas C_4

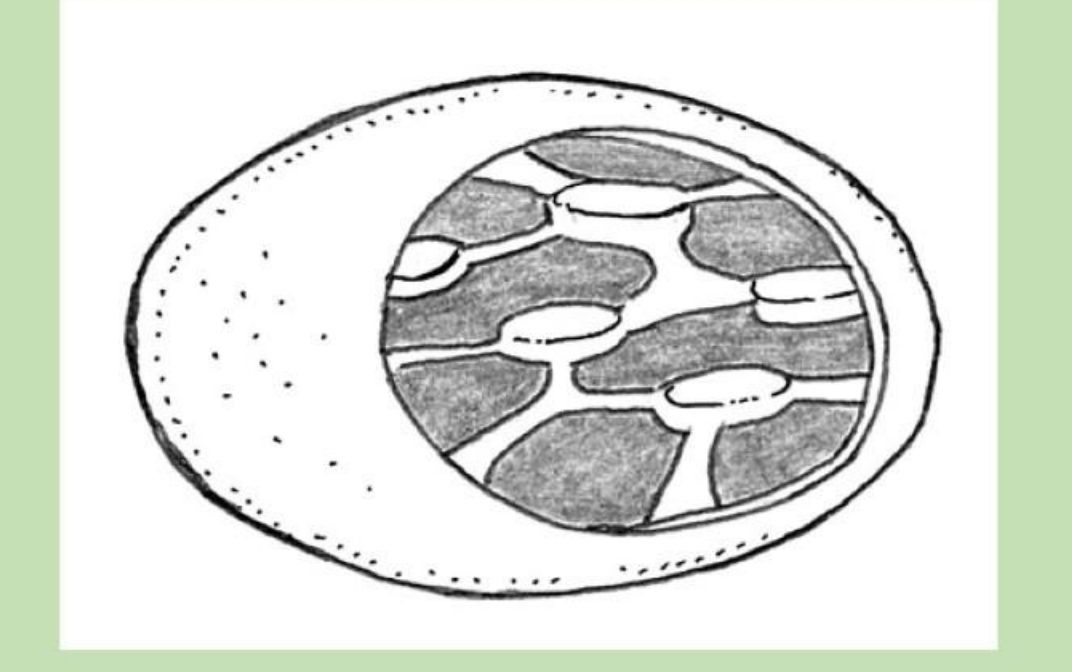


Existen **2 tipos de cloroplastos**:

En el mesófilo de la hoja, **cloroplastos con grana pero sin rubisco**, en donde sólo se realiza la fase luminosa.



En la estructura de Kranz, **cloroplastos sin grana o poca grana pero con rubisco**, en donde se realiza la fase oscura.



DIFERENCIAS ENTRE PLANTAS C_3, C_4 Y CAM

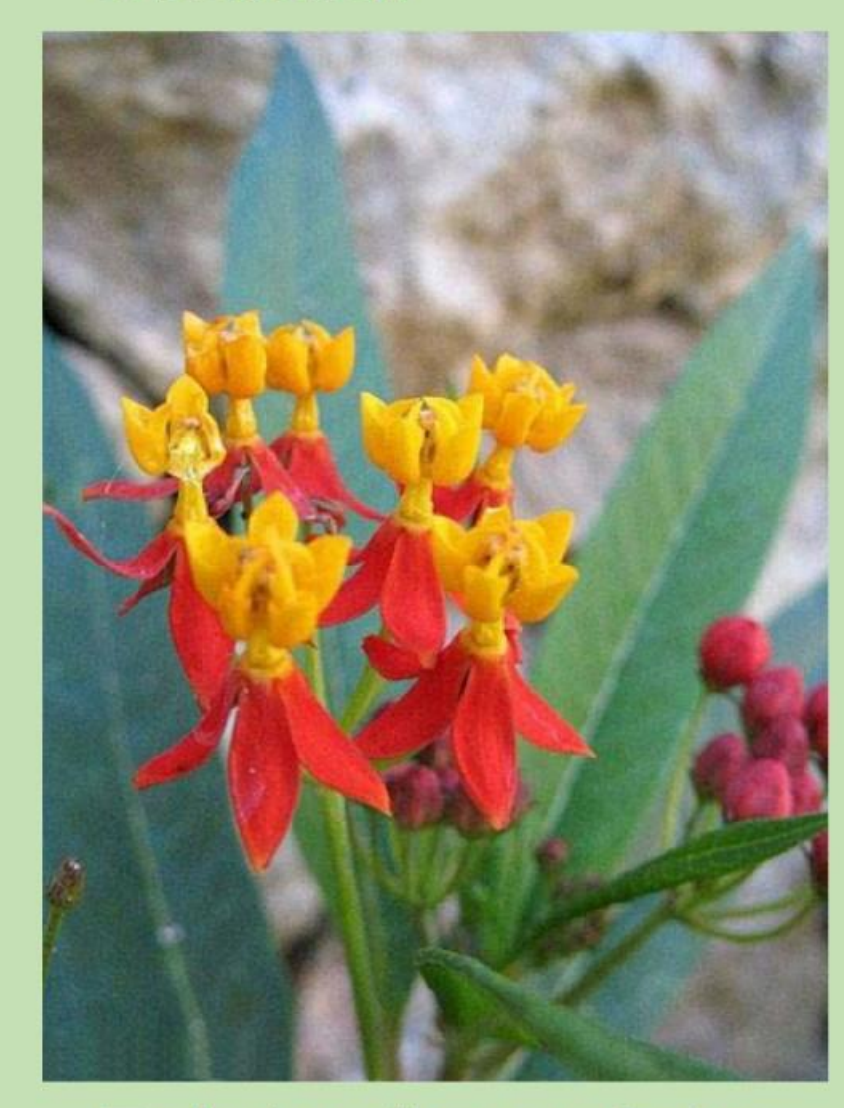
Característica	Plantas C_3	Plantas C_4	Plantas CAM
Porcentaje de especies	89%	< 1%	10%
Hábitat	Templados	Cálidos y tropicales	Desérticos y epifíticos
Temperatura óptima	15 - 25 ºC	25 ºC	Más de 30 ºC
Anatomía	Sin estruct. de Kranz	Con estruct. de Kranz	Suculencia
Frecuencia estomática	40 - 300 /mm^2	100 - 160 /mm^2	1-8 /mm^2
Fotosíntesis neta	15 - 35 mg CO_2/dm^2 de hoja/hora	40 - 80 mg CO_2/dm^2 de hoja/hora	1 - 18 mg CO_2/dm^2 de hoja/hora
Fotorrespiración	50% de la fotosíntesis	Muy baja	Muy baja a nula
EUA (*)	1 - 3 g CO_2 /kg H_2O	2 - 5 g CO_2 /kg H_2O	10 - 40 g CO_2 /kg H_2O
Tasa de crecimiento	5 - 20 g/m^2/d	40 - 50 g/m^2/d	0.2 g/m^2/d
Productividad	10 - 30 t/ha/año	60 - 80 t/ha/año	< 10 t/ha/año (**)

(*) Eficiencia en el uso del agua

(**) bajo condiciones de riego las plantas CAM se encuentran entre las más productivas

CROMOPLASTOS

Ubicación







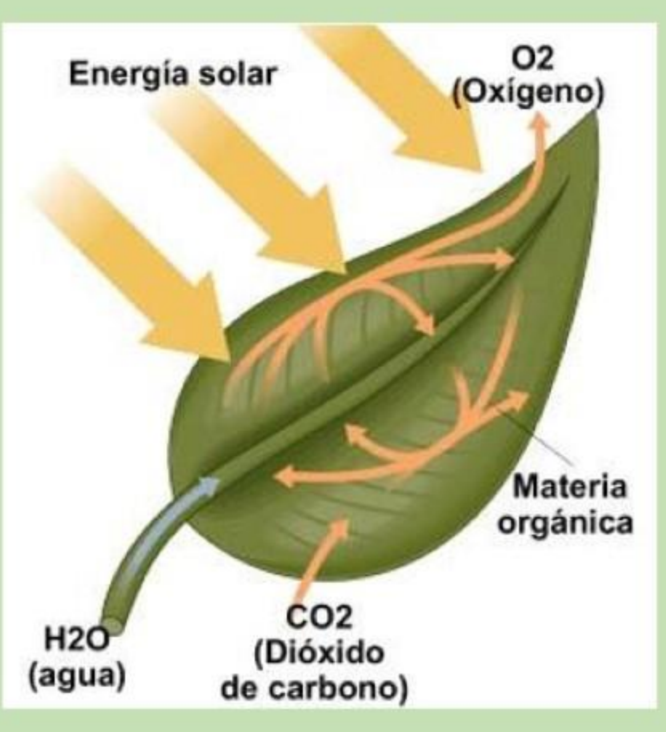
En hojas, flores y frutos

Mesocarpo de “rocoto”

Funciones de los carotenoides

1. Captan longitudes de onda diferentes a las clorofilas y se la **transfieren**.

Espectro de Absorción (%)
80
60
40
20
Carotenoides
clorofila a
clorofila b
400
500
600
700
Longitud de onda (nm)



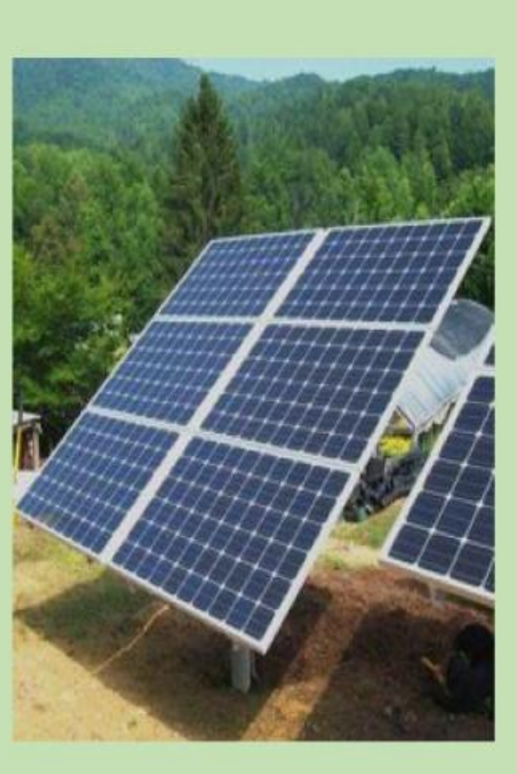
2. Como **paneles solares** en los complejos antena (a) de los fotosistemas (b). Protegen a las clorofilas (c) contra la **epoxidación**.

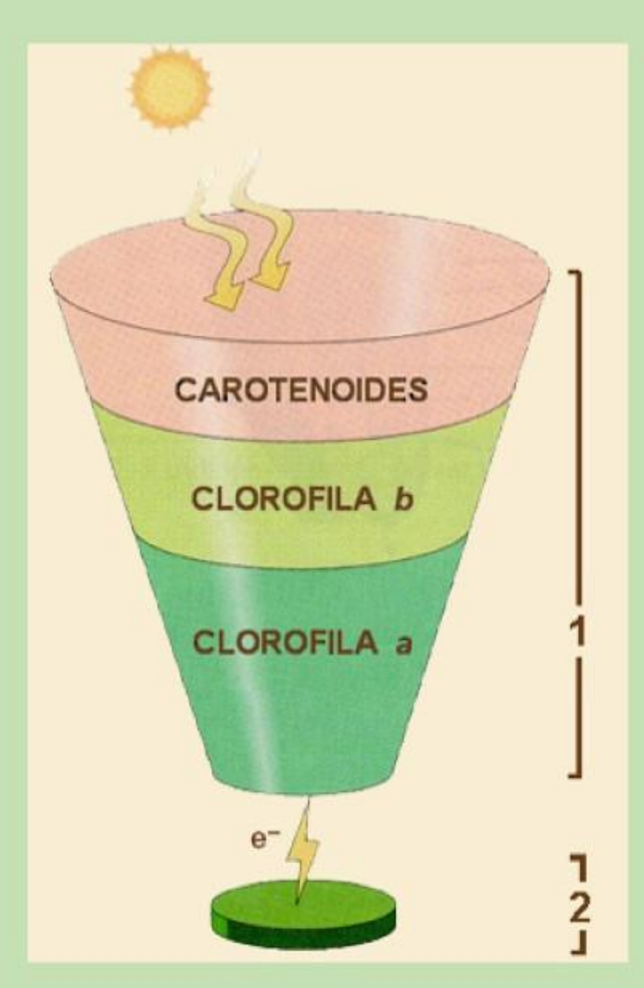
a

c

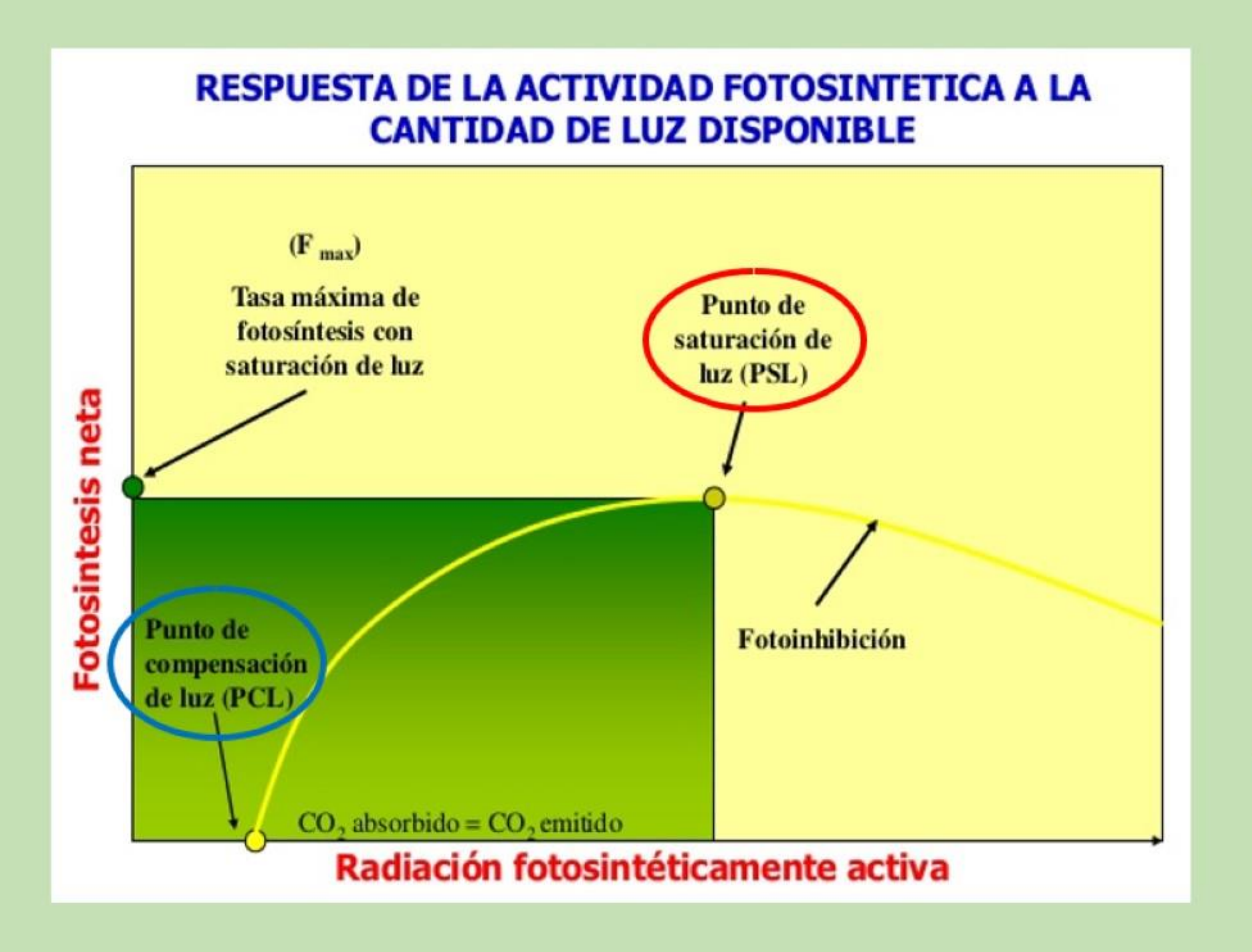
b

A. Ceroni





3. Como **pigmentos antena** en las llamadas plantas de sombra, capturan luz cuando las clorofilas ya no lo hacen.



Punto de compensación de luz: Intensidad luminosa a la cual la fotosíntesis neta es cero.

Punto de saturación de luz: Donde los incrementos de la intensidad luminosa ya no provocan incremento en la fotosíntesis.

Las plantas de sombra tienen **puntos de saturación de la luz muy baja** y por lo tanto **las clorofilas tienen una saturación muy rápida**.

Absorción neta de CO_2 (μmol/CO_2/m^2/s)

20

10

0

−10

250

750

1250

Fotosíntesis neta (μmol/m^2/s)

Crecidas al sol

Crecidas a la sombra

Puntos de saturación de la luz

Puntos de compensación de la luz

















Aráceas y Helechos



4. Dan color a los frutos haciéndolos **más atractivos** para la dispersión.



LEUCOPLASTOS

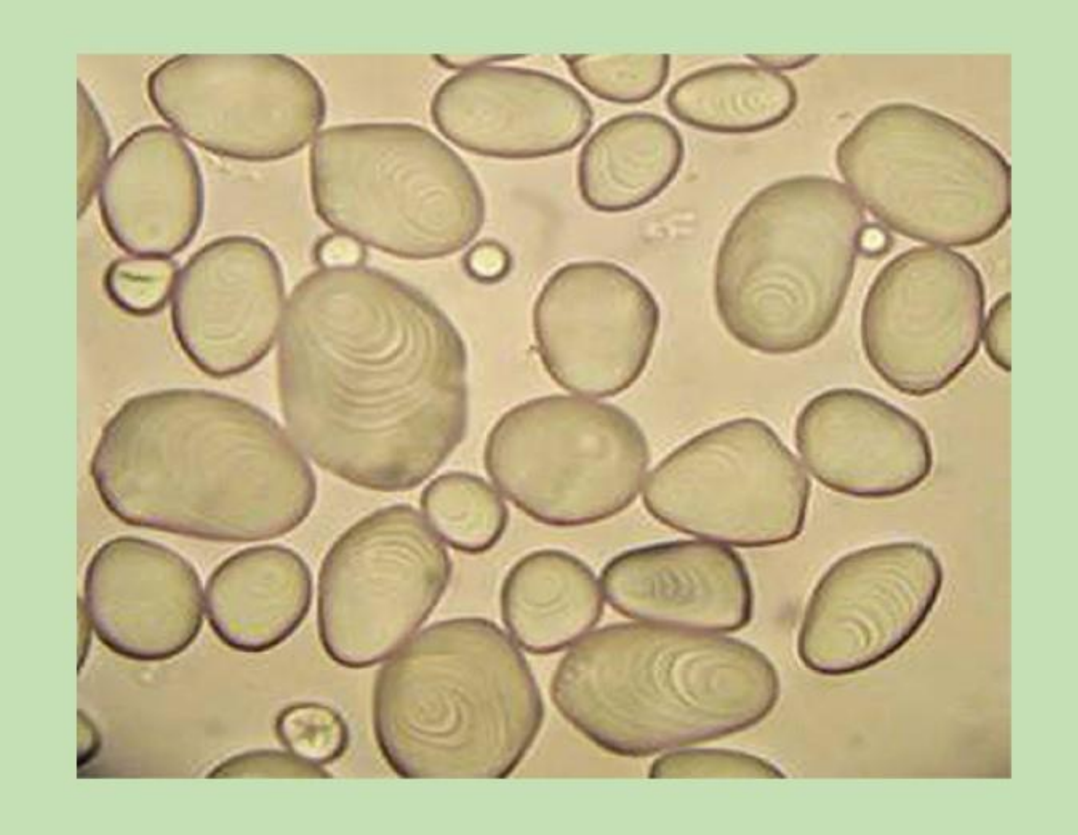
Ubicación



En raíces y tallos

Hoja de “zebrina”

Cuando los leucoplastos que están en los órganos de reserva (tubérculos, raíces, etc.) almacenan almidón se transforman en **granos de almidón**.

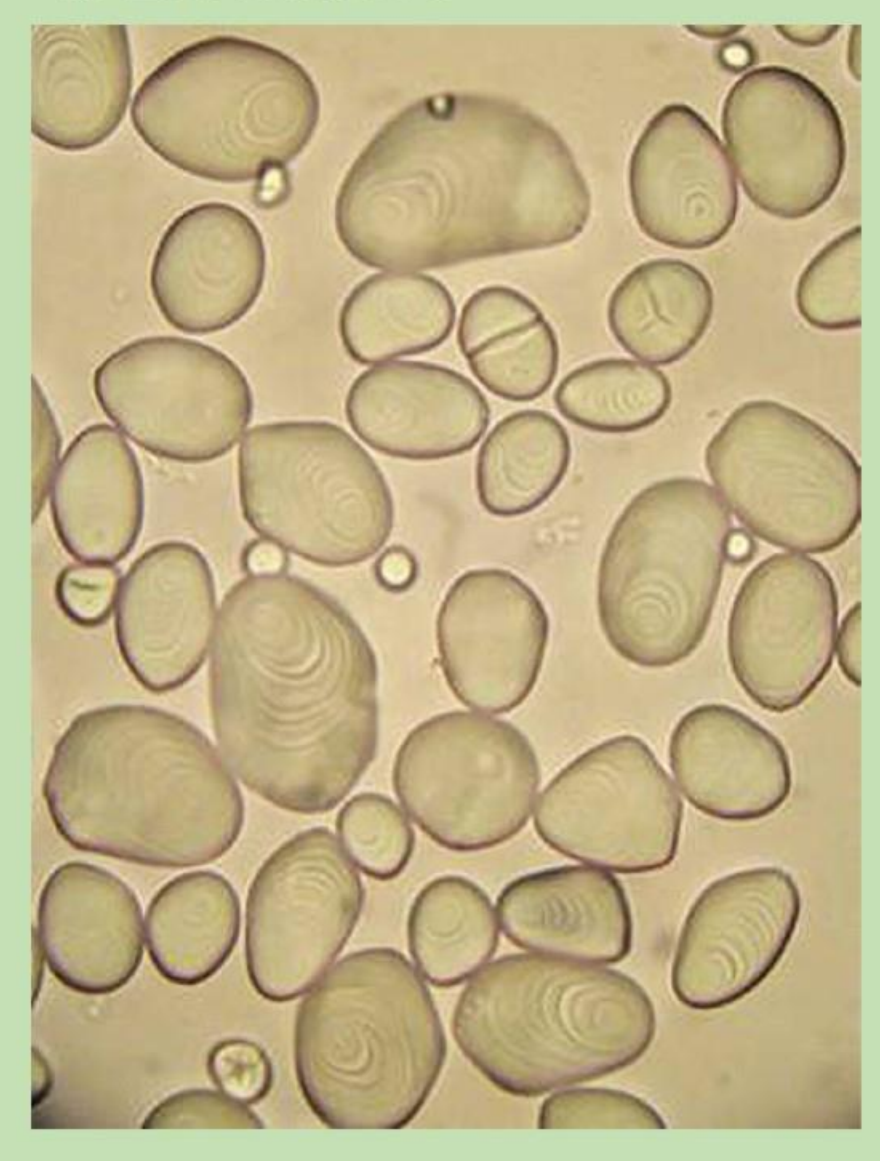


Las capas de almidón se forman alrededor de un núcleo llamado **hileo**, el cual puede ser como un **punto**, una **estrella**, una **X** o una **hendidura ramificada**, como sucede en el "trigo", "maíz" o "fríjol", respectivamente.

El modo de estratificación y la forma de los granos puede dar lugar a diferentes tipos.

TIPOS DE GRANOS DE ALMIDÓN

1. Excéntricos







"papa"

2. Concéntricos



"trigo"

3. Compuestos

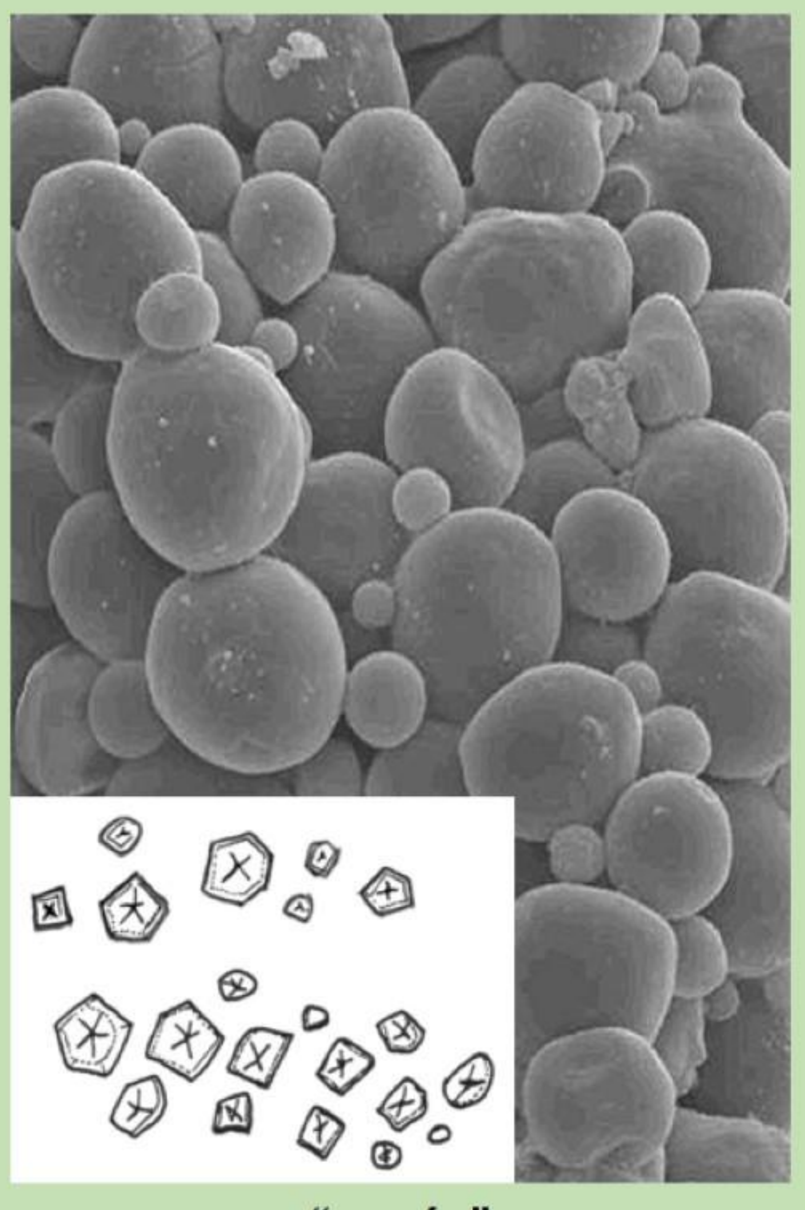






"arroz"

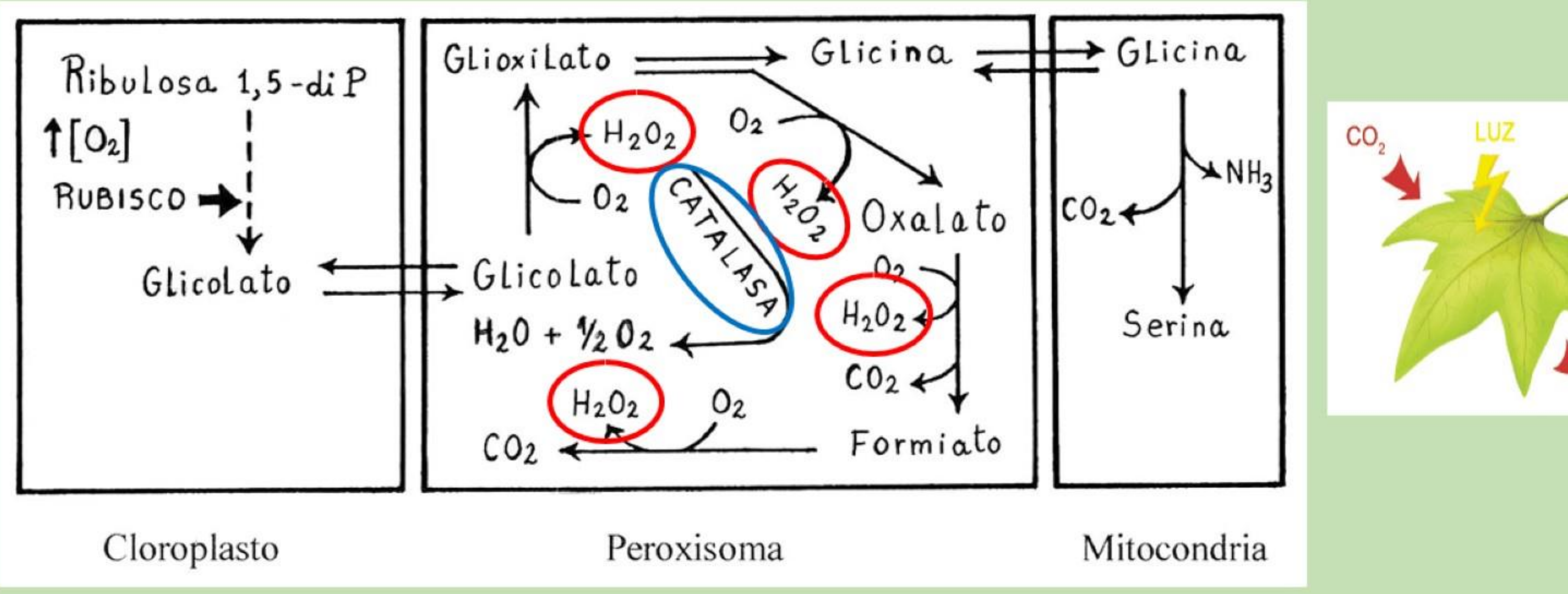
4. Poliédricos



"maíz"

MICROCUERPOS

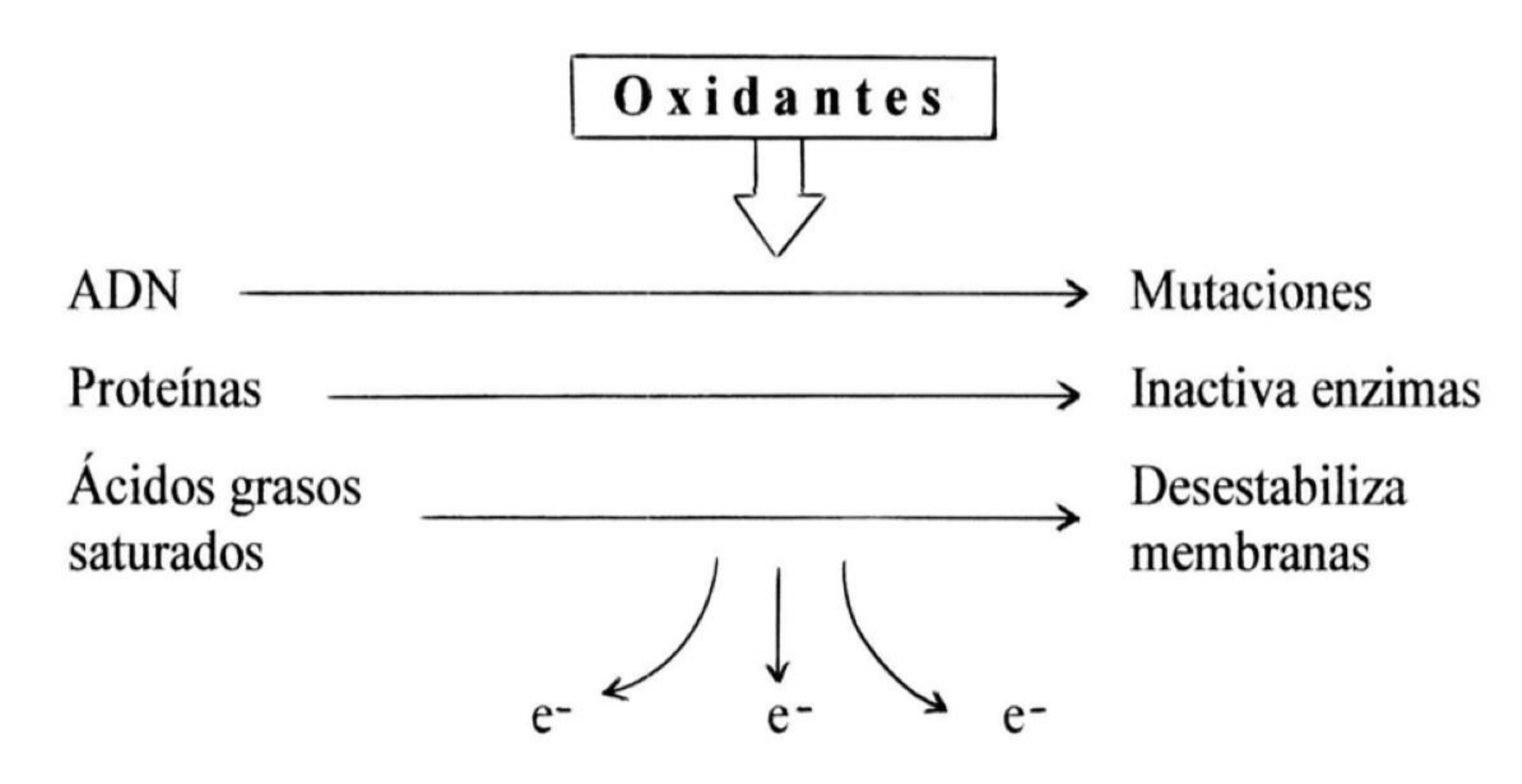
1. Peroxisomas



En las hojas, donde **cataliza la oxidación del glicolato** obtenido en la fijación del CO_2 en carbohidratos. Contiene la enzima catalasa (**peroxidasa**). Está asociado a la fotorrespiración.

OXIDANTES Y ANTIOXIDANTES

Los **oxidantes peróxidos**, **superóxidos** y **radicales libres** son tóxicos para la célula ya que dañan las moléculas de ADN, proteínas y ácidos grasos saturados al **extraer electrones**.



2. Glioxisomas

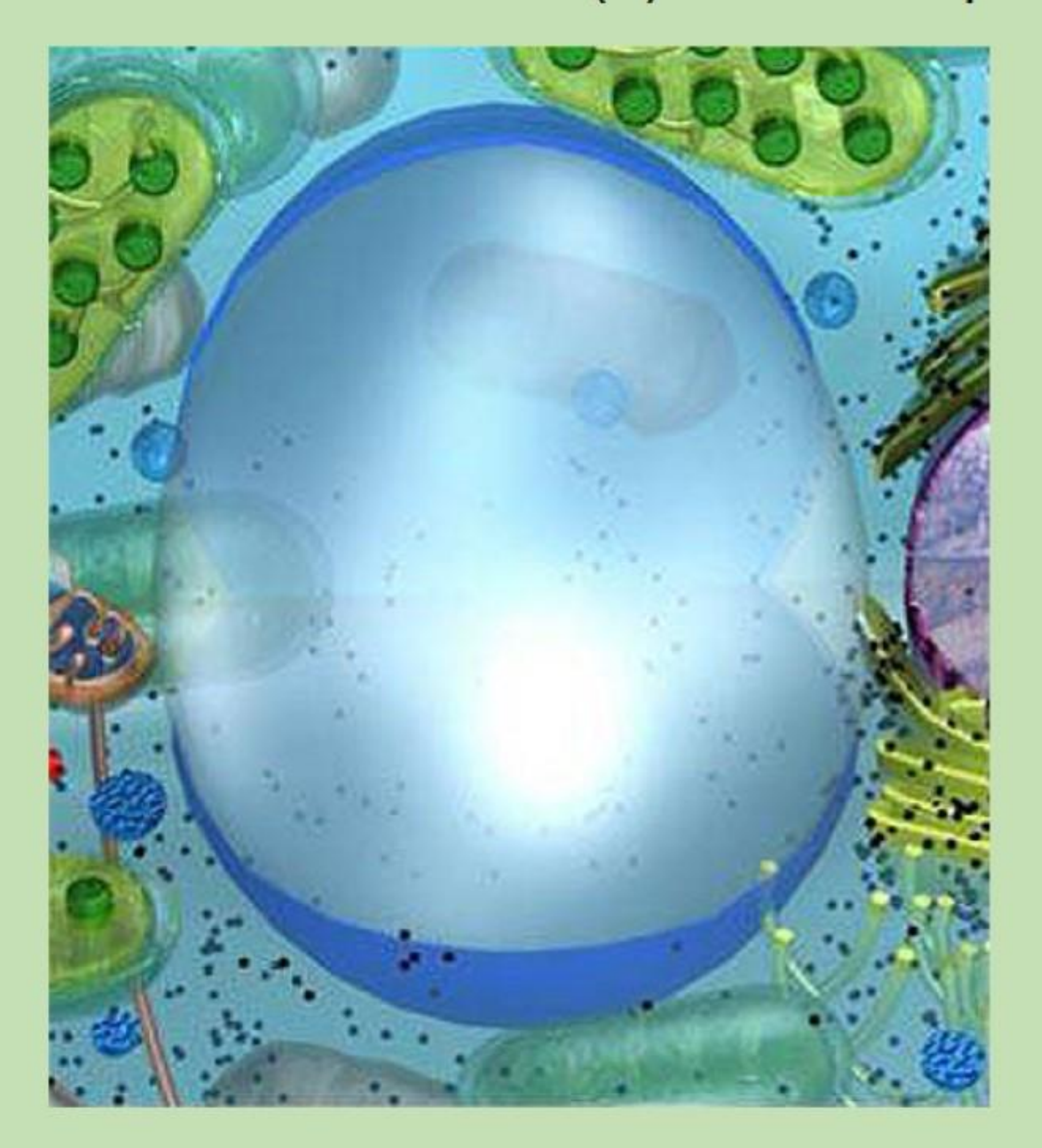
Gluconeogénesis
PEP ---> Malato
Acidos Grasos
β-oxidación
Malato
Oxala cetato
AcetiL CoA
Glioxilato
Ciclo del Glioxilato
Malato
Ciclo del Citrato
Oxala-cetato
Succinato
Citrato
CoASH
Iso-citrato
Mitocondria
Glioxisoma

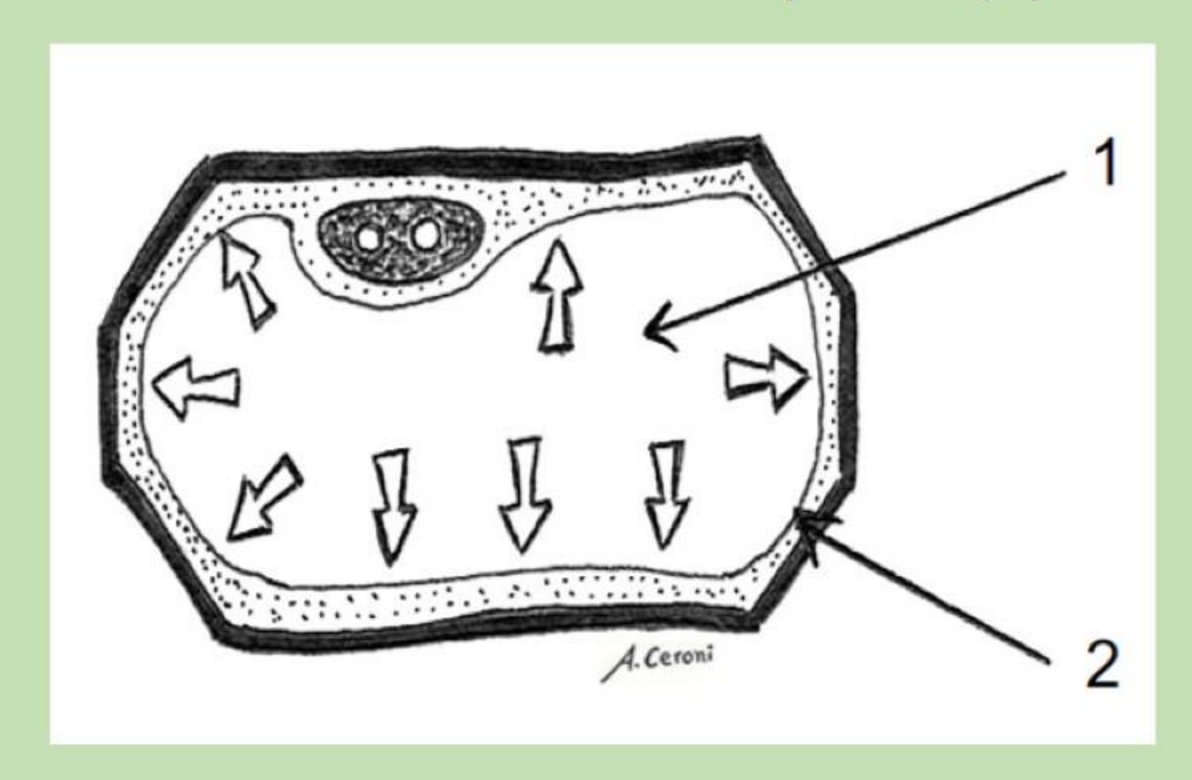


En las semillas, donde **convierte los ácidos grasos en carbohidratos** durante la germinación. Realiza el **ciclo del glioxilato**.

VACUOLAS

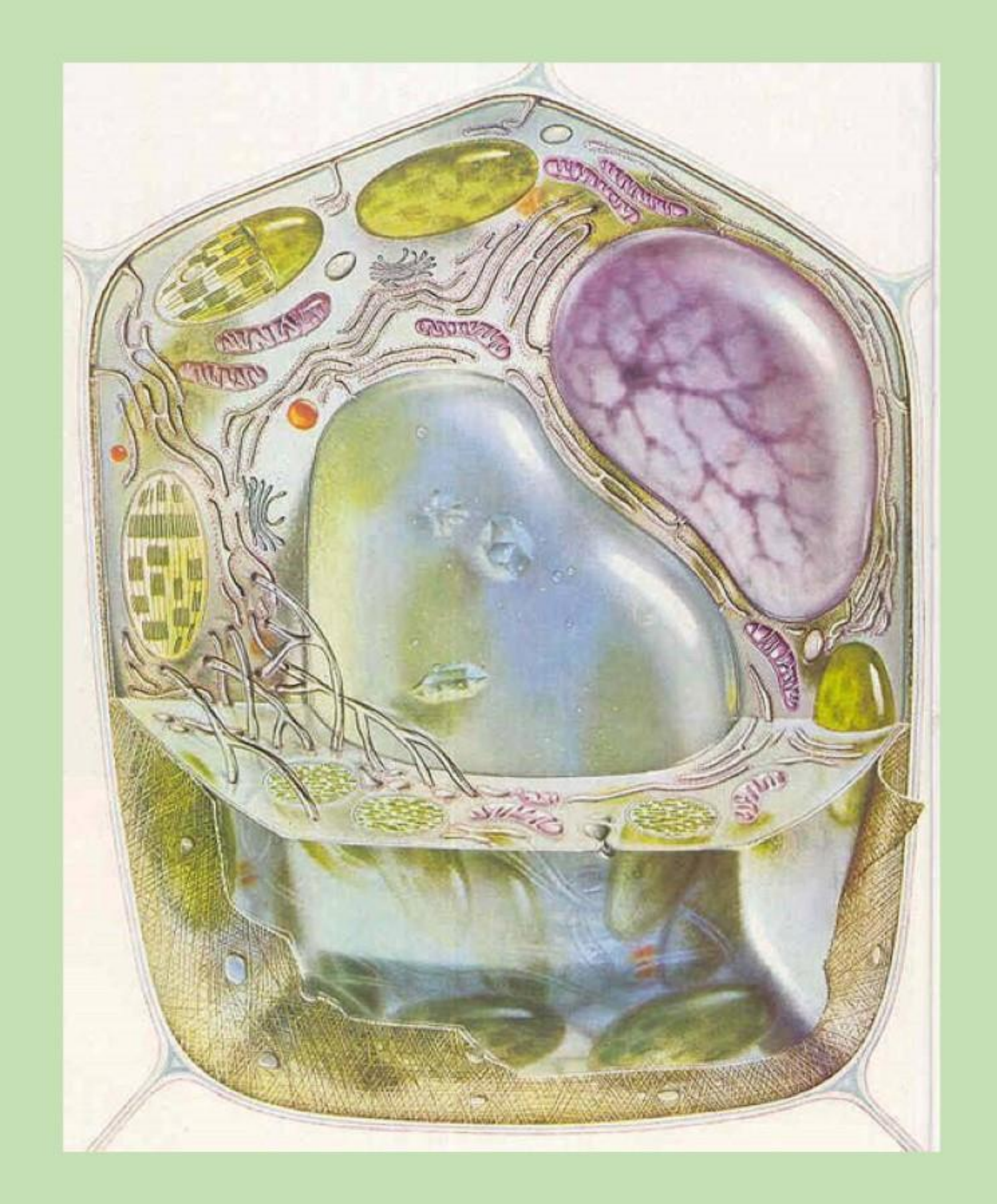
Soluciones acuosas (1) rodeadas por una membrana llamada tonoplasto (2).





Funciones

1. Balance hídrico.
2. Balance metabólico.
3. Presión de turgencia.



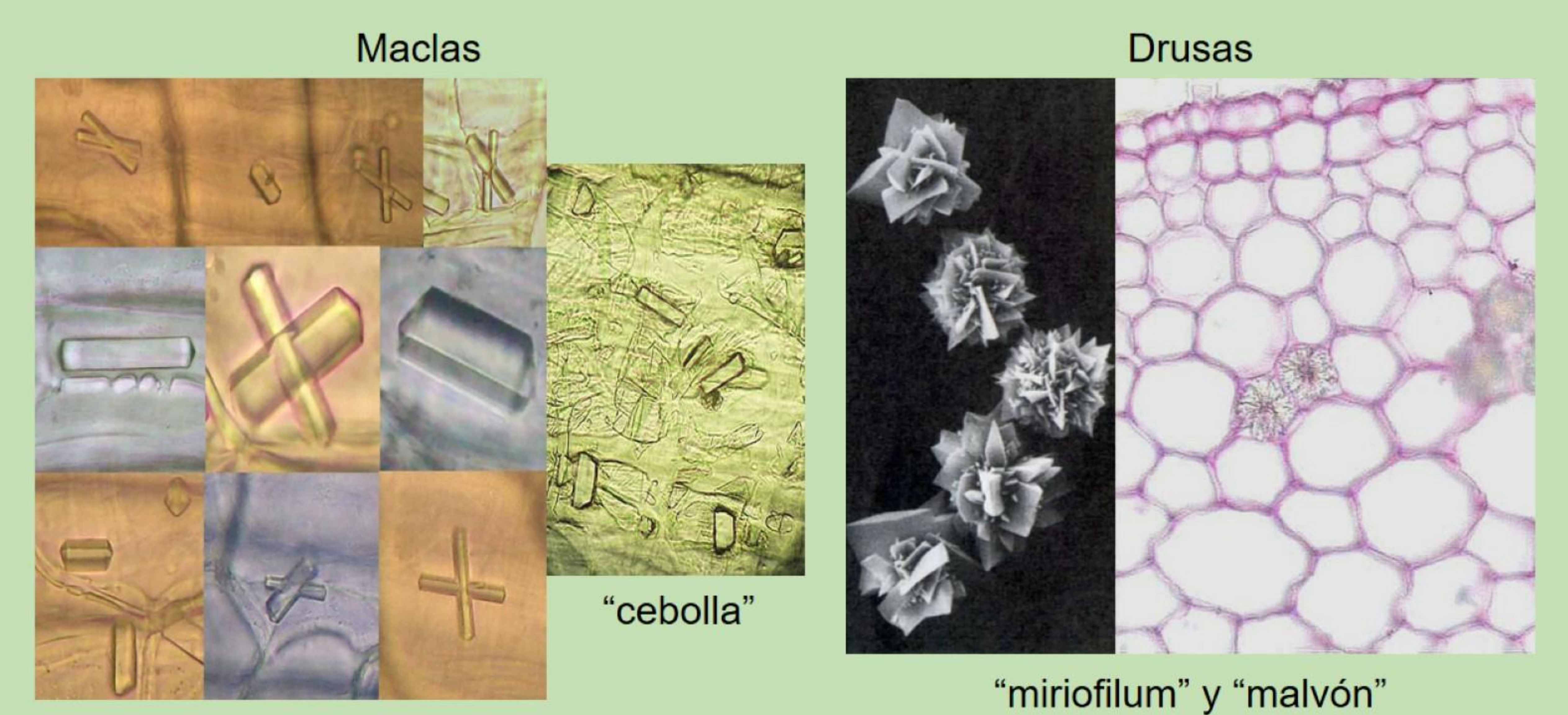
Las vacuolas contienen una solución muy diluida de numerosas sustancias.

Esta solución recibe el nombre de **savia celular**.

Entre sus componentes hay: **O_2**, **N_2**, **CO_2**, **nitratos**, **sulfatos**, **fosfatos**, **cloruros de K**, **Na**, **Mg**, **Fe**, **ácidos oxálico**, **cítrico**, **málico**, **sales inorgánicas**, **azúcares**, **proteínas hidrosolubles**, **alcaloides**, **antocianinas**, **antoxantinas**, etc.

SUSTANCIAS ERGÁSTICAS

1. De desecho: Como los cristales de oxalato de calcio.



Rafidios

“aloe”

Microcristales



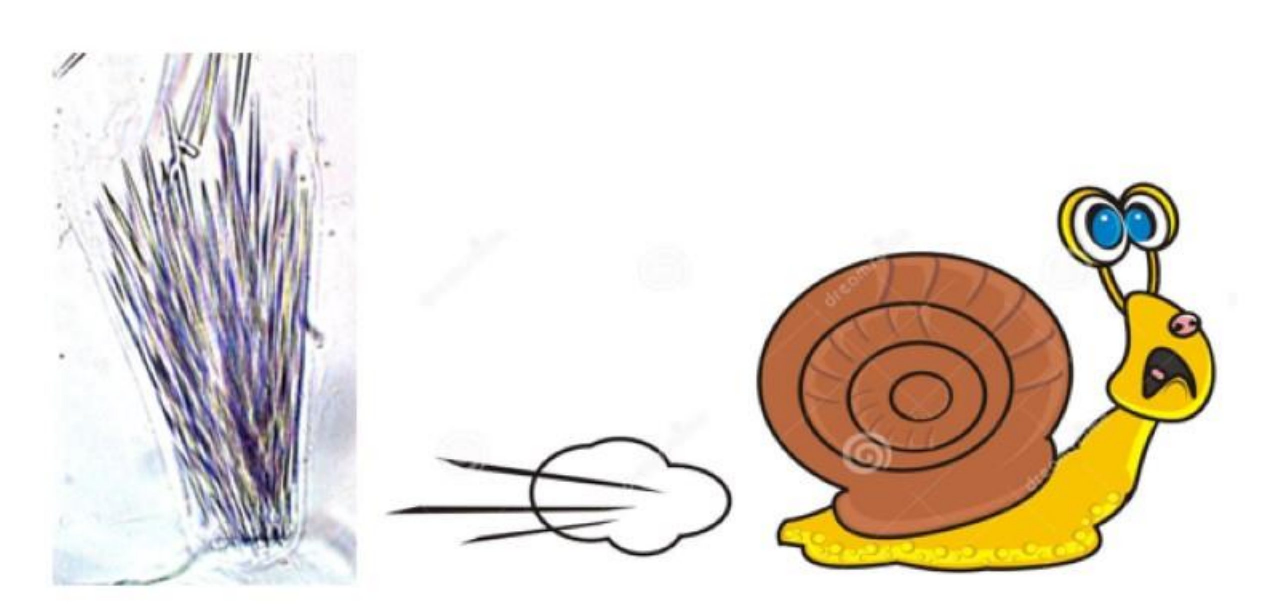
“floripondio”

CURIOSIDADES BOTÁNICAS

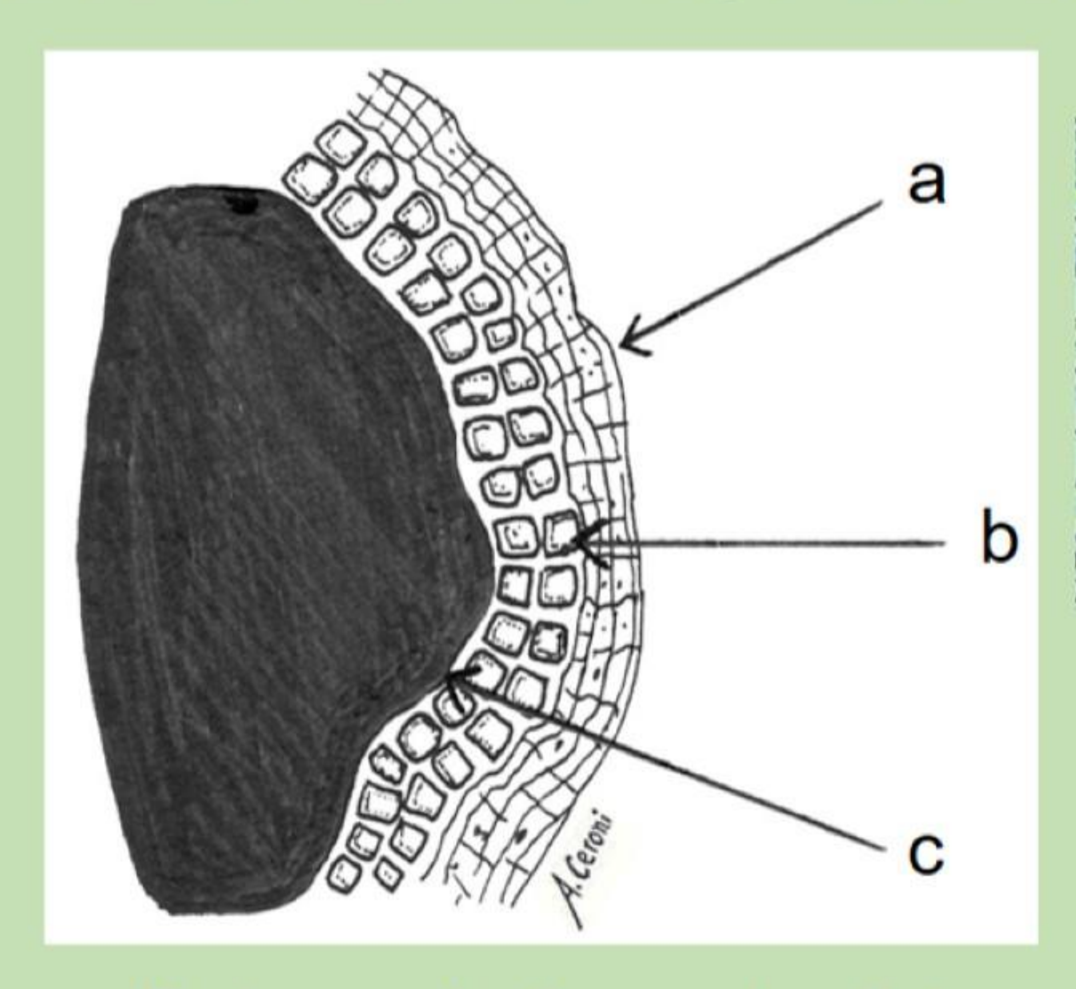
La presencia de cristales de oxalato de calcio pueden ser muy molestos para algunos animales



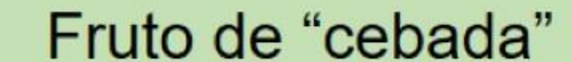
Es un mecanismo de defensa



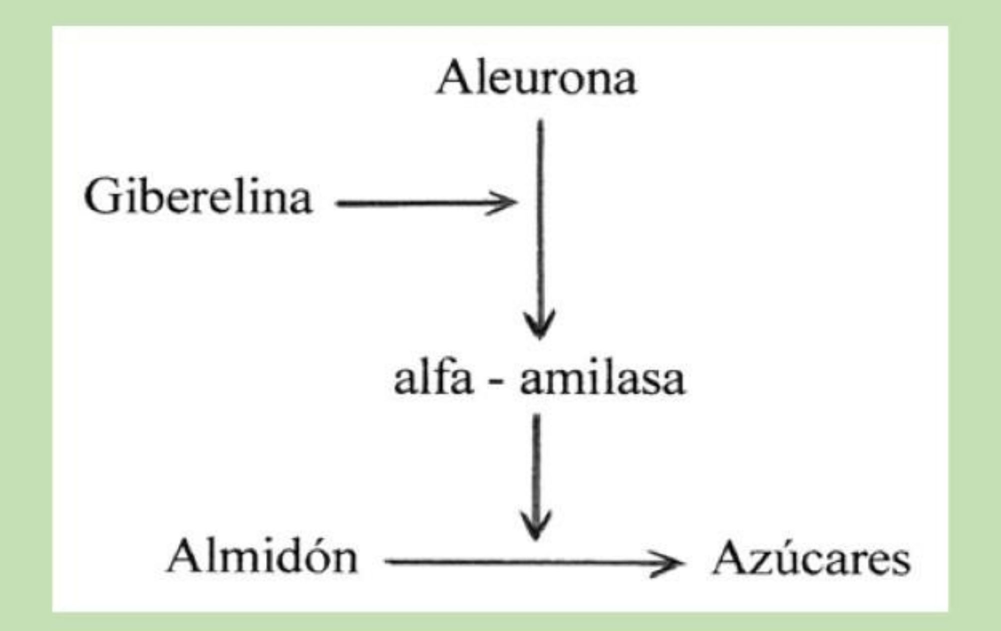
2. De reserva: Como los granos de aleurona.



a. Pericarpo; b. Capas de células con granos de aleurona y c. Endosperma.

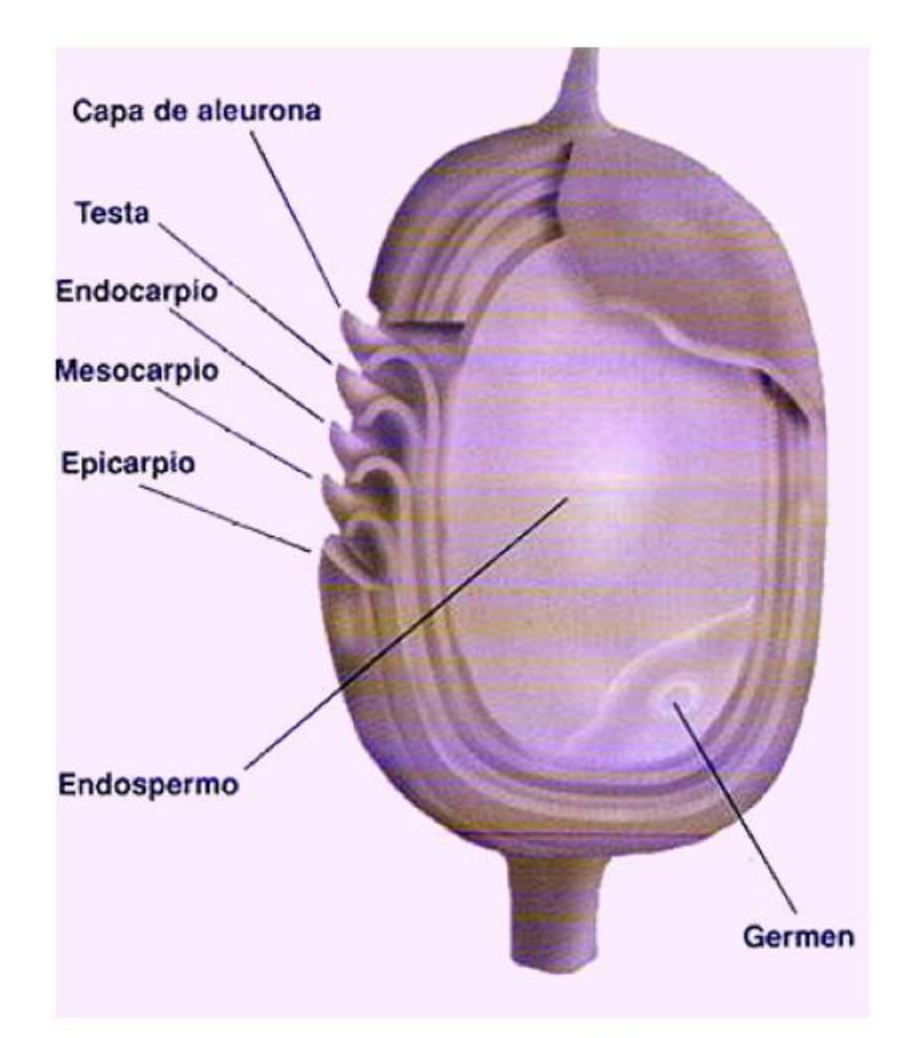






CURIOSIDADES BOTÁNICAS

¿Por qué el “trigo”, la “cebada”, el “maíz” o el “arroz” integral tienen mayor valor nutritivo?

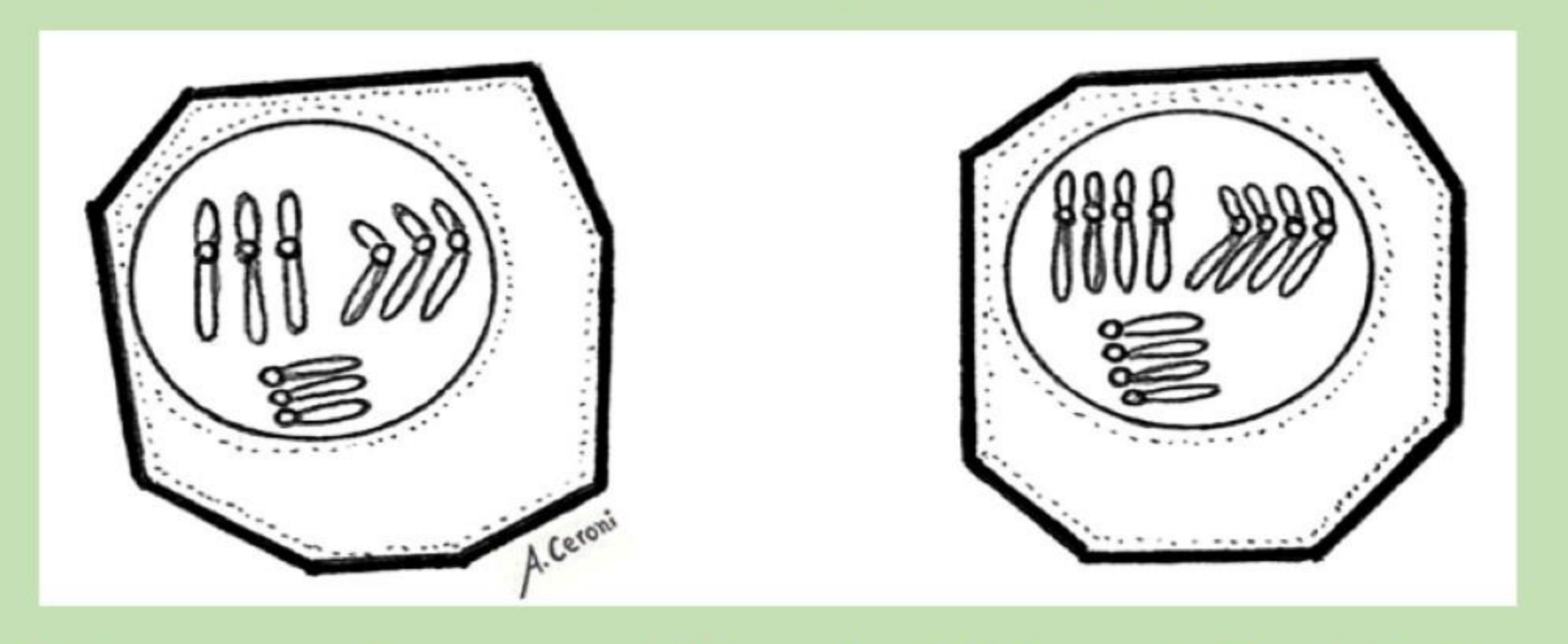




Porque además de la fibra contiene proteínas por las capas de aleurona

POLIPLOIDÍA

Fenómeno por el cual un organismo llega a tener células con **más de 2 series completas de cromosomas**, es decir, células poliploides.



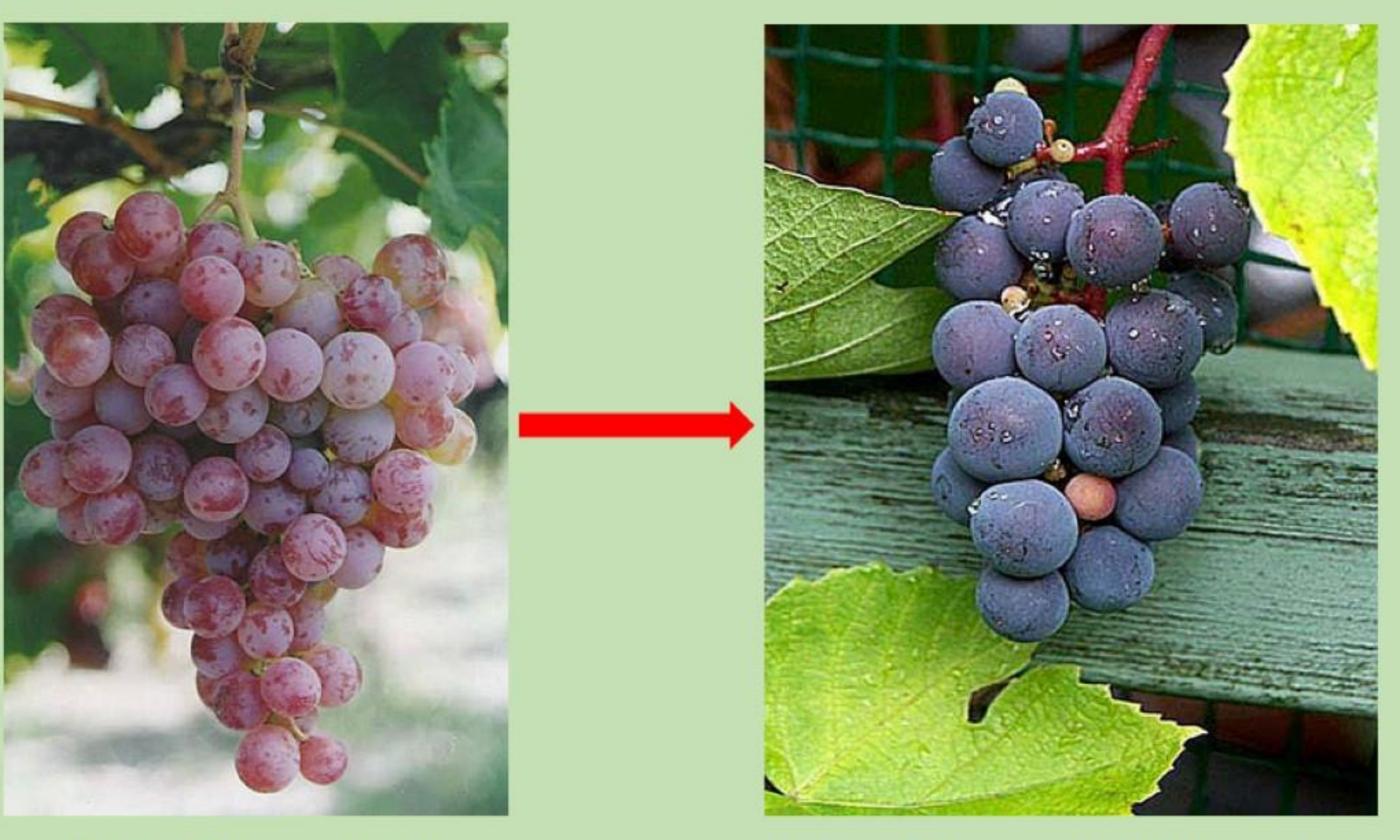
Células triploide y tetrapliode

Son triploides especies comestibles de “plátano”, “limón”, “taro”, “caña de azúcar”, “camote”, “papa”, “piña”, “maní”, “trigo”, “pera”, “vid”, “zarzamora”, además de “tabaco” y “gramíneas pratenses”.

Son tetraploides cultivares tropicales como “café arábico”, “algodón”, “papa” y “piña”.

ORIGEN DE LOS POLIPLOIDES

1. Duplicación del número original de cromosomas o **autopoliploidía**



Var. \`Moscatel´
(2n = 38)

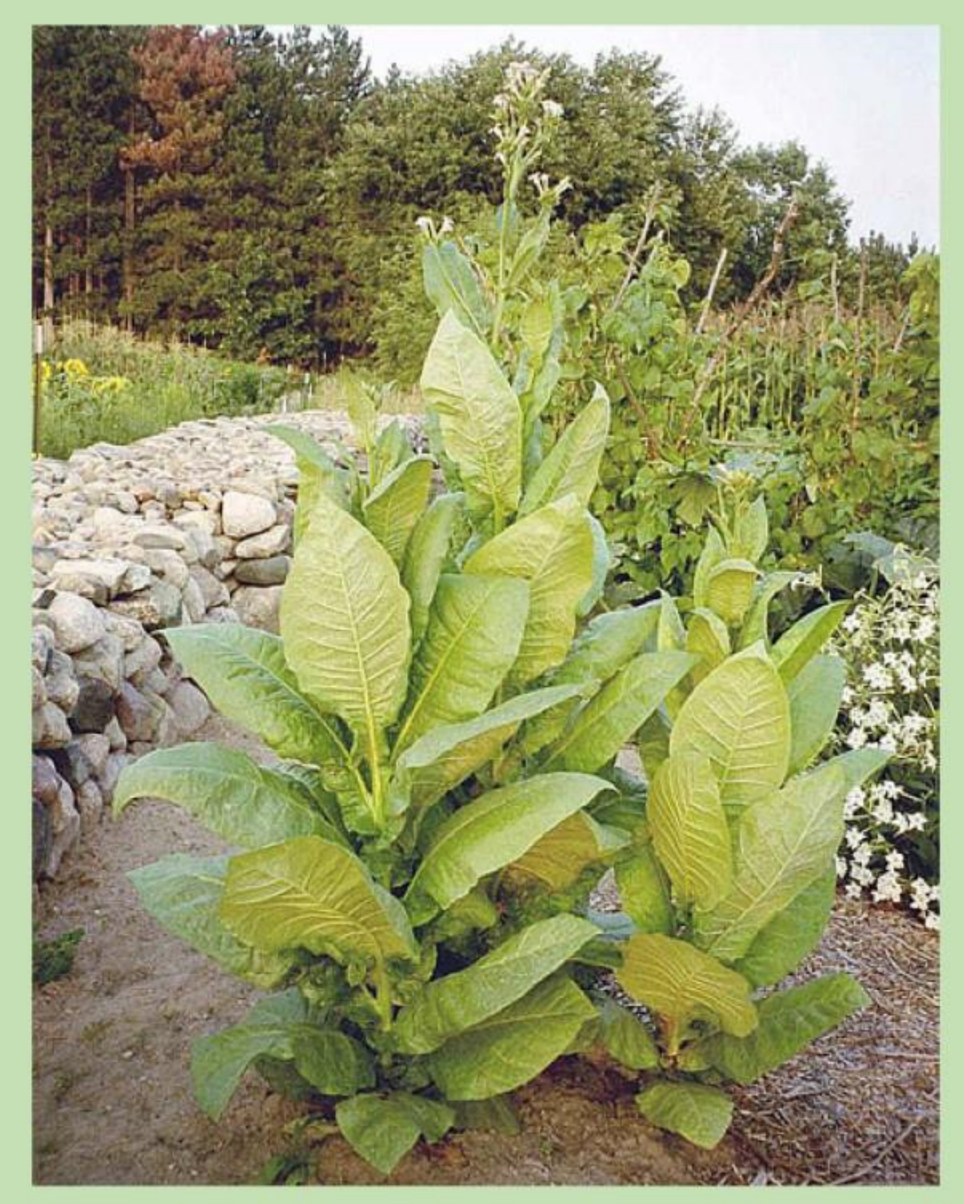
Var. \`Moscatel Gigante´
(4n = 76)

Como en las variedades de ***Vitis vinifera*** "uva"

2. Duplicación de los genomios de 2 especies parentales después del cruce o **alopoliploidía**

Como en el origen del "tabaco" cultivado ***Nicotiana tabacum*** (4n = 48) obtenido a partir de:

N. sylvestris **X** ***N. tomentosa***
(2n = 24) (2n = 24)



Es el caso de cultivos como el "trigo", "centeno", "algodón", etc. en los que se ha podido comprobar su origen.

Probablemente, el "café arábico" sea también un alopoliploide.

3. Duplicación del genomio de las células germinales en una de las especies parentales

Como el caso de las llamadas “cañas indias”. El ***Saccharum*** “coimbatore” (3n = 112), originado a partir de: ***S. spontaneum* X *S. officinarum***, con (n = 32) y (2n = 80), respectivamente.



En este caso un parental contribuye con su número haploide y el otro con su número diploide.

4. Cruce de 2 especies poliploides

Como el origen de la “fresa” cultivada, ***Fragaria grandiflora*** (8n = 56), resultado de cultivar juntas 2 especies poliploides en los jardines ingleses a mediados del siglo XIX: ***F. virginiana* X *F. chiloensis***, cada una con (8n = 56).



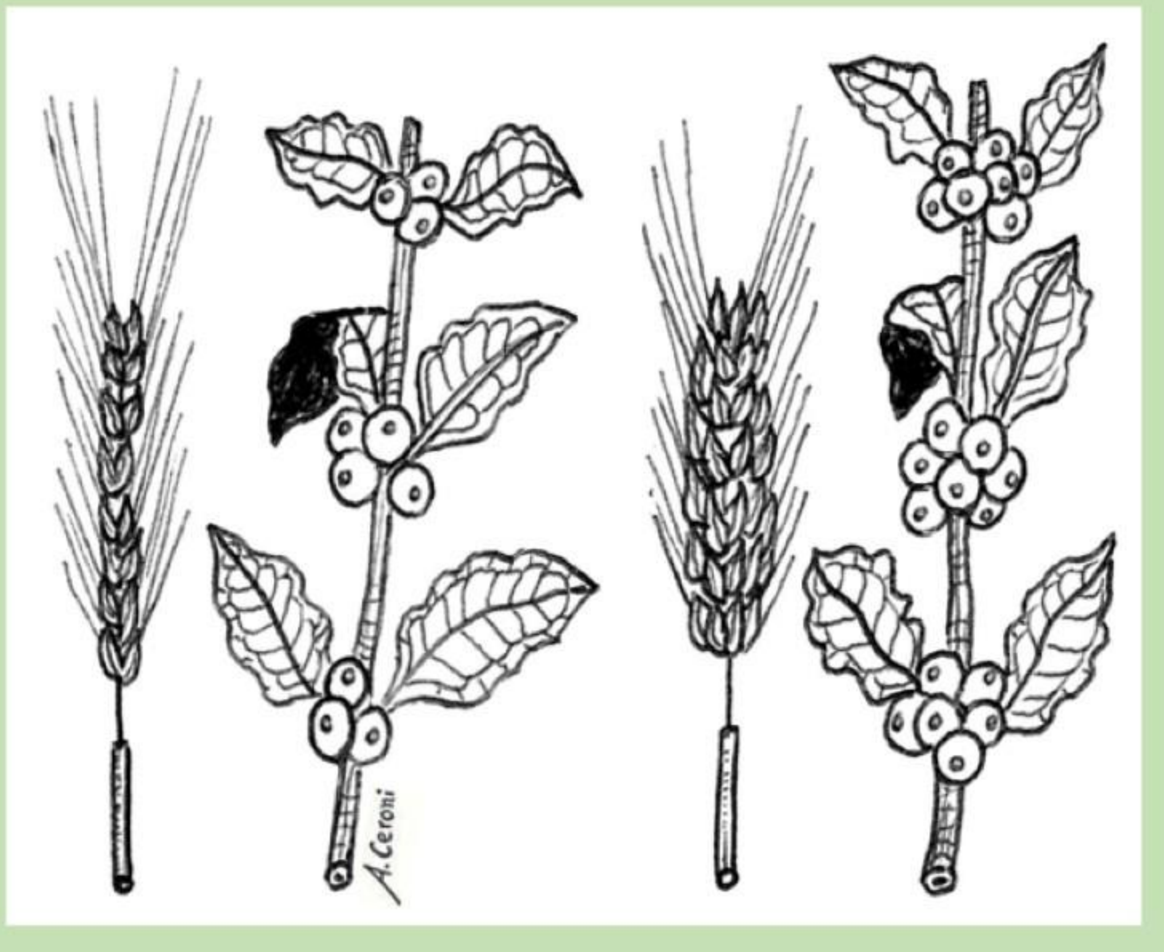
VENTAJAS DE LA POLIPLOIDÍA

1. Aumento del tamaño

Manzanas y alfalfa diploides

Manzanas y alfalfa poliploides

2. Aumento del número de frutos



Trigo y café diploides

Trigo y café poliploides

3. Cambios en la fenología

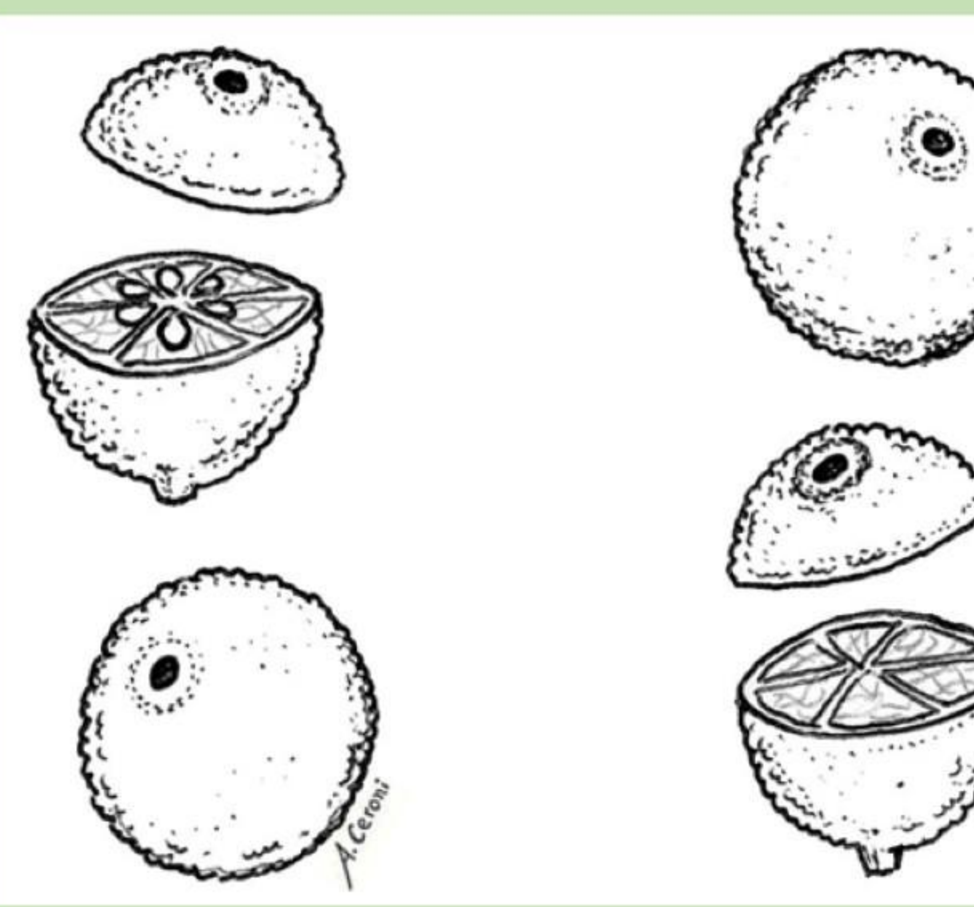


Estadios fenológicos para las fenofases de floración y fructificación de ***Cleistocactus acanthurus*** **subsp. *faustianus***

4. Frutos partenocárpicos

Manzanos diploides
floreando en agosto

Manzanos poliploides
floreando en abril



Naranjas diploides
con semillas

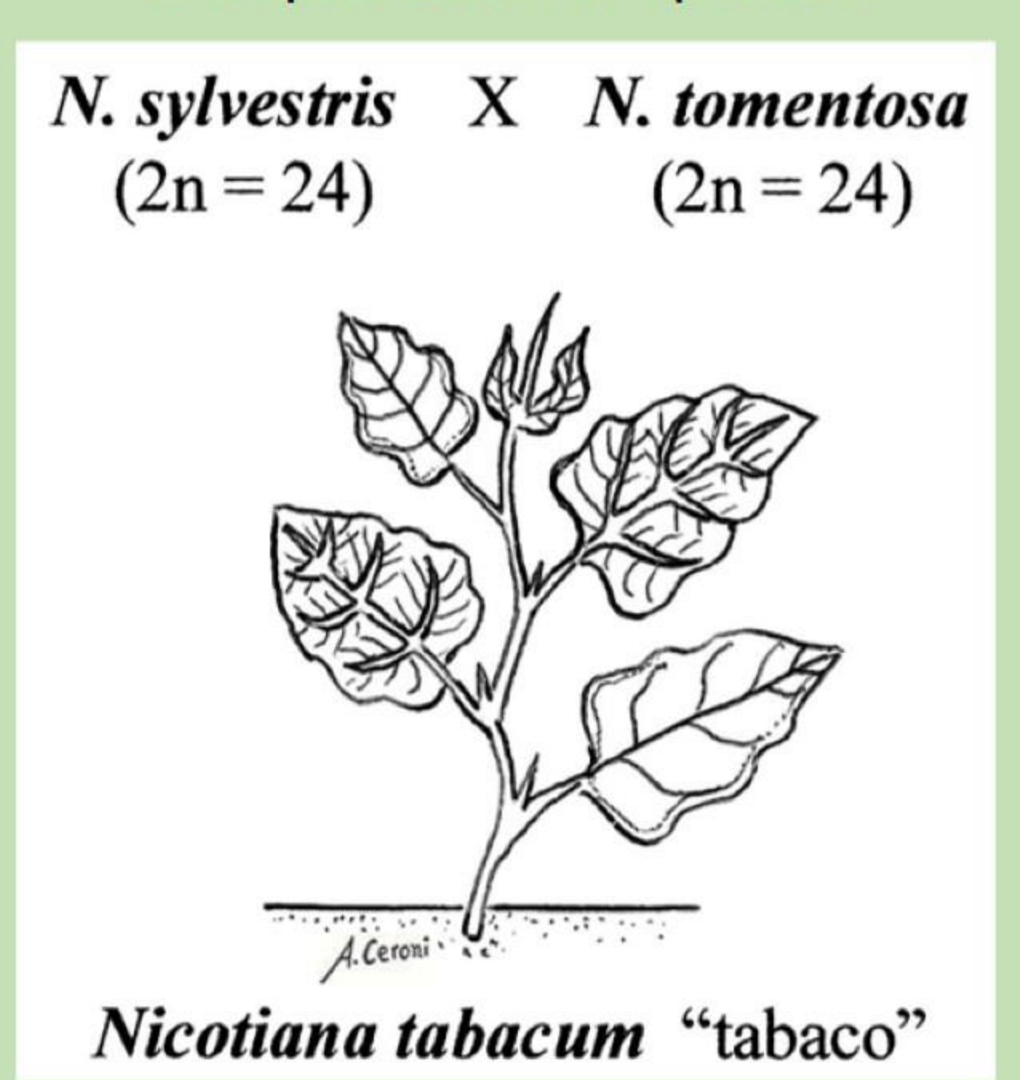
Naranjas poliploides
sin semillas

5. Amplifica los caracteres

Frutos diploides poco coloridos y poco aromáticos

Frutos poliploides más coloridos y más aromáticos

6. Especiación simpátrica



(4n = 48)

Aldo Ceroni Stuva
Biólogo. Magister en Botánica Tropical
Ph.D. en Agricultura Sustentable
Profesor Principal
Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)
Facultad de Ciencias
Departamento Académico de Biología
Herbario MOL - Augusto Weberbauer
Jardín Botánico "Octavio Velarde Núñez" UNALM
Correo: aceroni@lamolina.edu.pe





